W. BRÜSCH



LEITFADEN DER ELEKTRIZITÄT IM BERGBAU



P. P.

Meinen umfangreichen Verlag auf dem Gebiete der **Mathematischen,** der **Technischen** und **Naturwissenschaften** nach allen Richtungen hin weiter auszubauen, ist mein stetes durch das Vertrauen und Wohlwollen zahlreicher hervorragender Vertreter obiger Gebiete von Erfolg begleitetes Bemühen, wie mein Verlagskatalog zeigt, und ich hoffe, dafs bei gleicher
und Schulmänner des In- und Auslandes
en Lehrenden und Lernenden in Wissen-
:h sein werden. **Verlagsanerbieten** ge-
m Gebiete werden mir deshalb, wenn
Werke über denselben Gegenstand in
ets sehr willkommen sein.

ernehmungen mache ich ganz besonders
ssenschaften zu München und Wien und
zu Göttingen herausgegebene **Encyklo-**
nschaften aufmerksam, die in 7 Bänden
Analysis, die Geometrie, die Mechanik,
hysik und die Astronomie behandelt und
philosophische und didaktische Fragen
r zu obigen Bänden bringen wird.

n sich die mathematischen und natur-
nes Verlags, als da sind: Die **Mathe-**
heca Mathematica, das **Archiv der**
ahresberichte der Deutschen Mathe-
chrift für Mathematik und Physik
tischen und naturwissenschaftlichen



kurzen Zwischenräumen: **„Mitteilungen**
Teubner". Diese „Mitteilungen", welche
n sowohl im In- als auch im Auslande
das Publikum, welches meinem Verlage
rschienenen, unter der Presse befindlichen
ehmungen des Teubnerschen Verlags in
ie das bis auf die Jüngstzeit fortgeführte
druckte **Verzeichnis des Verlags von**
e der Mathematik, der technischen
und Naturwissenschaften nebst Grenzgebieten, 95. Ausgabe [XXXVIII u. 140 S. gr. 8], in allen Buchhandlungen unentgeltlich zu haben, werden auf Wunsch aber auch unter Kreuzband von mir unmittelbar an die Besteller übersandt.

LEIPZIG, Poststrafse 3.

B. G. Teubner.

26645



LEITFADEN

DER

ELEKTRIZITÄT IM BERGBAU

VON

DR. PHIL. WILHELM BRÜSCH

OBERLEHRER.

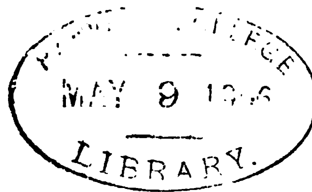
MIT 411 ABBILDUNGEN IM TEXT.



LEIPZIG,

DRUCK UND VERLAG VON B. G. TEUBNER.

1901.



Vorwort.

Im Januar 1900 wurde der Verfasser von der Königlichen Centralverwaltung der Steinkohlen-Bergwerke König und Königin Luise zu Zabrze O. S. beauftragt, für ihre Beamten eine Reihe von zwanzig Experimentalvorträgen über das für dieselben „Wissenswerteste“ aus der Elektrizität im Bergwerksbetriebe zu halten. Er kam dieser Aufforderung um so lieber nach, als ihm dadurch Gelegenheit gegeben wurde, seine Thätigkeit als Lehrer an der Oberschlesischen Bergschule etwas mehr mit der Praxis in Verbindung zu bringen und so Nutzen bringend für den Bergschulunterricht zu machen. Ebenso gerne war ich bereit, dem Wunsche der Königlichen Centralverwaltung Folge zu geben, einen kurzen Abriſs der Vorträge niederzuschreiben, der, auf Kosten genannter Verwaltung vervielfältigt, den Beamten zur Befestigung des Gehörten in die Hand gegeben werden sollte. Da mir nach Beendigung der Vorträge in Zabrze (Februar bis April 1900) ein ähnlicher Lehrauftrag für die Beamten der Kattowitzer Aktiengesellschaft für Bergbau und Hüttenbetrieb und der Fürstlich Hohenlohe'schen Verwaltung zu teil wurde, so beschloſs ich, neben dem obigen Abriſs noch eine etwas ausführlichere Wiedergabe der Vorträge abzufassen, die mir für weitere Vortragsserien und den elektrotechnischen Unterricht an der Bergschule als Leitfaden dienen sollte. Kurz vor Beendigung des betreffenden Manuskriptes entschloſs ich mich, mit Genehmigung der Centralverwaltung beide Texte zu einem zu vereinigen, und so ist das vorliegende Büchlein entstanden.

Es macht keinen Anspruch auf Vollständigkeit und groſse Wissenschaftlichkeit. Ebenso wenig will es Veröffentlichungen ähnlicher Richtung ersetzen, sondern es möchte dem im Betriebe befindlichen, für umfangreiche Lektüre naturgemäſs nicht allzu sehr schwärmenden Grubenbeamten sowie dem Bergschüler das Wissenswerteste an der Hand des Experimentes und einer Reihe von bereits ausgeführten Anlagen auf bequeme Weise zugänglich machen. Dem letzteren Zwecke dienen die zahlreichen Abbildungen, für welche die am Schlusse des

Buches*) verzeichneten Firmen die Klischees in dankenswerter Weise zur Verfügung stellten. Für die zeichnerische Wiedergabe der übrigen von mir gegebenen Skizzen bin ich dem derzeitigen Schüler der Oberklasse der Oberschlesischen Bergschule, Herrn Mauch, zu bestem Danke verbunden.

Ich möchte nicht unterlassen, auch an dieser Stelle dem damaligen Vorsitzenden der Königlichen Centralverwaltung zu Zabrze, dem jetzigen Herrn Geheimen Oberbergrat Hilger zu Saarbrücken, dem nunmehrigen Vorsitzenden der erstgenannten Verwaltung, Herrn Königl. Bergrat Jaeschke, sowie dem Herrn Generaldirektor der Kattowitzer Aktiengesellschaft für Bergbau und Hüttenbetrieb zu Kattowitz, Williger, meinen verbindlichsten und ganz ergebensten Dank für das Wohlwollen und Vertrauen auszusprechen, das sie mir durch Übertragung der Vorträge gezeigt haben.

Meinen Herren Hörern aber danke ich herzlichst für das Interesse, das sie meinen Vorträgen entgegen gebracht haben. Ich wünsche ihnen ein fröhliches

„Glück auf!“

Tarnowitz O. S., im Oktober 1900.

Wilhelm Brüsch.

Für die Zustellung etwaiger Berichtigungen sowie Verbesserungs- bezw. Ergänzungsvorschläge würde der Verfasser allen Lesern der nachstehenden Zeilen sehr dankbar sein. Ebenso sind mir Mitteilungen der Herren Betriebsbeamten (oder der ausführenden Firmen) über neue interessante elektrische Kraftanlagen und Betriebe auf Gruben etc. stets willkommen. Ich würde, wenn möglich und soweit es meine Zeit gestattet, Gelegenheit nehmen, die eine oder andere Anlage daraufhin zu besichtigen. Alle darauf bezüglichen Mitteilungen erbitte ich mir nach Lübeck.

Lübeck, im Juni 1901.

OL. Dr. **Wilhelm Brüsch.**

---

*) Siehe das Sachregister.

Inhaltsverzeichnis.

*) Im Text ist immer „die" Helios gesagt; man ergänze immer -Gesellschaft.

Erster Vortrag.

Magnetismus. Magnetisches Feld. Magnetische Kraftlinien und ihre Bedeutung.

An dem uns allen bekannten, in Magnesia in Kleinasien gefundenen Magneteisenstein (F_3O_4) wurde schon sehr frühe die Beobachtung gemacht, dafs dieses Erz die Eigenschaft hat, Eisenfeile anzuziehen. Wir bezeichnen diese Eigenschaft, nach jenem Fundorte, als Magnetismus und nennen den Magneteisenstein einen natürlichen Magneten. Nach mehreren Methoden kann man auch Eisen magnetisch machen. Wir sprechen dann von einem künstlichen Magneten. Man hat diesem aus Zweckmäfsigkeitsrücksichten verschiedene Formen gegeben: Stab-, Hufeisen-, Rauten- (Nadel-), Glocken-, Ring-, Segmentform.

Legt man einen Stabmagneten in Eisenfeile, so werden diese von der Mitte des Stabes garnicht (**Indifferenzstelle**), von den Enden dagegen in grofser Menge angezogen (Pole). — Der Magnetstab wird an einem Faden frei beweglich (in horizontaler Ebene) aufgehängt: er nimmt allmählich eine gewisse Ruhelage ein, indem er sich ungefähr von Norden nach Süden stellt. Das nach Norden zeigende Ende bezeichnen wir als **Nordpol**, das entgegengesetzte als **Südpol**. Unserem aufgehängten Magneten (I) nähern wir einen zweiten (II), dessen Polarität durch einen dem vorigen gleichen Versuch festgestellt worden ist. Der Nordpol I zieht den Südpol II an und stöfst den Nordpol II ab. Daraus schliefsen wir:

Gleichnamige Pole stofsen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

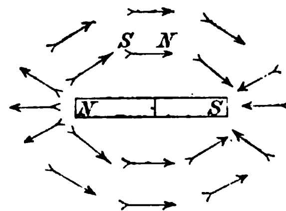


Fig. 1.

Wir befestigen nun einen der Stäbe in horizontaler Lage und führen eine frei bewegliche Magnetnadel um ihn herum; es ergeben sich die aus Fig. 1 ersichlichen Stellungen der Nadel. Wiederholt man den Versuch mehrmals und lässt dabei den Abstand der Nadel von dem Magnetstabe immer mehr wachsen, so wird man bald bei einer gewissen Entfernung der Nadel vom Stabe die Beobachtung machen, dafs die erstere die skizzierten Stellungen nicht mehr

annimmt, sondern, wie gewöhnlich, in der Richtung *NS* verharrt. Mithin ist der Wirkungsbereich des Magnetstabes ein beschränkter.

Wir nennen den ganzen Bereich, innerhalb dessen ein Magnet seine Wirkungen auf einen anderen oder auf Eisenteilchen ausübt, das magnetische Feld.

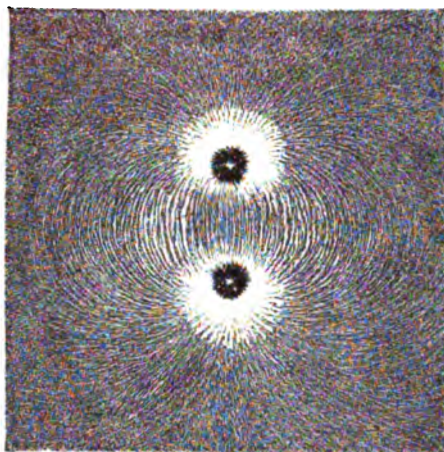


Fig. 2.

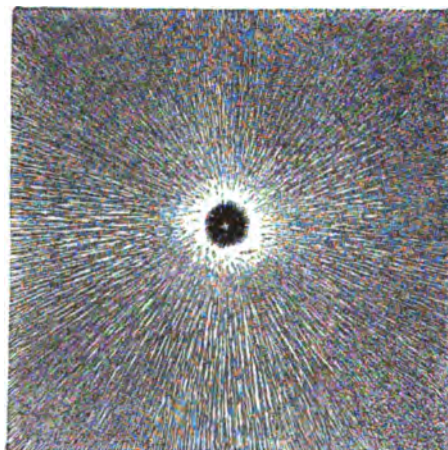


Fig. 3.

Wird der Magnet kräftiger, so wird auch das magnetische Feld gröfser.

Der folgende Versuch führt uns die Bedeutung des magnetischen Feldes noch etwas klarer vor Augen: Die zwei Stäbe I und II werden so senkrecht aufgestellt, dafs zwei ungleichnamige Pole (*N* u. *S*) einander gegenüberstehen (Fig. 2). Über diese bringen wir eine Glasplatte, ein Stück Pappe oder dergl. und streuen durch ein Sieb Eisenfeile auf die Unterlage, indem diese gleichzeitig mit dem Finger leicht geklopft wird: Die Eisenfeile ordnen sich in Kurven (**Faradays Kraftlinien**) an, die von einem Pole zum anderen gehen; zwischen den Polen verlaufen sie nahezu geradlinig (Fig. 2). Wird nun das erhaltene System von Kraftlinien um die Verbindungslinie der Pole gedreht gedacht, so erhält man das ganze von Kraftlinien durchzogene (räumlich aufzufassende) magnetische Feld. Mit Hülfe besonderer Methoden ist man imstande, an irgend einer Stelle des magnetischen Feldes die Anzahl der Kraftlinien zu zählen, die dort auf ein qcm kommen. **Die Anzahl der Kraftlinien pro qcm ist das Mafs für die Stärke des magnetischen Feldes und wird mit *H* bezeichnet.**

Diese Festlegung des Kraftlinienbegriffes kann zur näherungsweisen Ableitung eines wichtigen Gesetzes dienen. Statt mit ungleichnamigen Polen machen wir den vorigen Versuch mit einem einzigen Pole; es ergiebt sich das Bild des magnetischen Feldes, wie es Fig. 3 darstellt, und das natürlich durch dementsprechende Drehung wieder räumlich aufzufassen ist. Dadurch wird gewissermaſsen ein Strahlensystem von Kraftlinien erhalten, die alle von dem als Punkt gedachten Pole ausgehen. Mit einem Radius r_1 cm werde um diesen eine Kugel beschrieben (Fig. 4). Auf jedes qcm der Kugeloberfläche kommt dann eine bestimmte Anzahl von Kraftlinien H_1; durch die ganze Oberfläche gehen demnach $4r^2\pi \cdot H_1$. Es wird jetzt eine zweite, gröſsere Kugelfläche vom Radius r_2 cm konzentrisch zur ersten konstruiert. **Dieselbe** Anzahl von Kraftlinien geht dann durch eine gröſsere Oberfläche hindurch; es müssen also auf 1 qcm weniger als vorhin, sagen wir H_2, kommen. Die gesamte Kraftlinienzahl wird $4r_2^2\pi \cdot H_2$ sein. Sie muſs der ersten Zahl gleich sein; also ist:

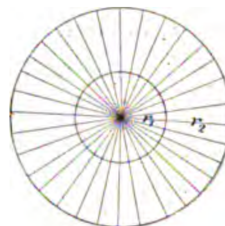


Fig. 4.

$$4r_1^2\pi \cdot H_1 = 4r_2^2\pi \cdot H_2$$

oder:

$$H_1 : H_2 = r_2^2 : r_1^2.$$

Das heiſst:

Die Stärke (H) des magnetischen Feldes nimmt mit der Entfernung von den Polen ab.

Sie ist am gröſsten in der Nähe der Pole. Diese liegen jedoch keineswegs an den Enden des Magnetstabes von der Länge l, sondern jeder von ihnen erscheint um $\frac{1}{12}\,l$ in das Innere hineingerückt. Die Richtigkeit dieser Behauptung wird dadurch erwiesen, daſs auf einen Magnetstab der Länge nach eine Platte gelegt und darauf der Eisenfeilversuch angestellt wird (Fig. 5). Die Enden des Stabes ragen über jene Stellen hinaus, von denen die zahlreichsten Kraftlinien ausgehen. Von der Mitte des Stabes gehen dagegen gar keine Linien aus, weil sich dort eben die Indifferenzstelle befindet.


Fig. 5.

Kehren wir jedoch noch einmal zu dem in Fig. 2 dargestellten Versuch zurück, den wir jetzt dahin abändern, dafs wir zwischen die beiden Pole (N u. S) noch ein Stückchen weichen Eisens bringen. Das Bild ändert sich plötzlich dahin ab (Fig. 6), dafs eine deutlich sichtbare Konzentration der Kraftlinien nach dem Eisenstückchen hin stattfindet. **Das weiche Eisen ist also imstande, die Kraftlinien zu konzentrieren, es läfst sie besser durch als Luft.** Man nennt diese

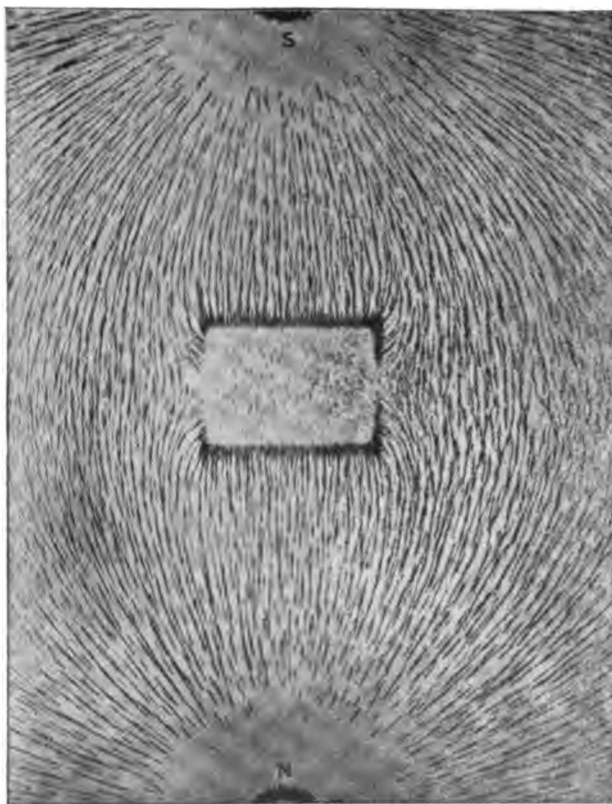


Fig. 6.

Eigenschaft des Eisens seine **Permeabilität** und drückt sie aus durch den Quotienten: $\frac{B}{H}$, worin H die Anzahl der Kraftlinien in Luft, B diejenige im Eisen ist.

Diese soeben beschriebene Erscheinung ist äufserst wichtig für Konstruktion der Dynamomaschinen, und es soll daher darauf noch etwas näher an der Hand einiger Versuche eingegangen werden.

Wir streichen eine Stricknadel von der Mitte aus in der einen Richtung mit dem Südpol, in der anderen mit dem Nordpol eines Magneten und finden, dafs das erste Ende ein Nord-, das andere Ende ein Südpol geworden ist, überhaupt dafs wir einen vollständigen Magneten vor uns haben; denn in Eisenfeile gelegt zeigt die Stricknadel sämtliche früher beschriebenen Eigenschaften eines Magneten (Fig. 7). Wie kommt das? Darauf antwortet uns ein zweiter, dritter und vierter Versuch. Wir dnrchbrechen nämlich die Stricknadel und finden, dafs beide Teile wieder vollständige Magnete sind. Auch diese beiden werden nochmals durchbrochen; wir erhalten schon vier Magnete, und wenn wir dasselbe wiederholen, sogar acht Magnete. Wir könnten noch weiter mit unserer Teilung bis zum kleinsten, denkbaren Teilchen, dem Moleküle, fortfahren, und kommen so zu der Annahme, dafs jedes Molekül Eisen immer ein vollständiger Magnet sei. Ist äufserlich das Eisen unmagnetisch, so sind die Molekularmagnete in der Weise angeordnet, dafs die entgegengesetzten Pole sich gegenseitig in ihren Wirkungen aufheben. Soll nun das Eisen magnetisiert werden, so ist die Aufgabe des Magnetisierens eben die, die Molekularmagnete so zu drehen, dafs die Nordpole nach der anderen, die Südpole nach der anderen Richtung gewendet sind (Fig. 8).

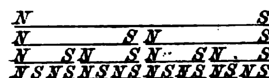
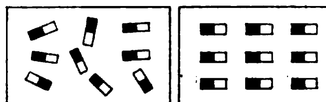


Fig. 7.


Fig. 8.

Dieses „Drehen“ der Moleküle unter dem Einflusse eines magnetischen Feldes H wird um so leichter sein, je geringer der Molekularzusammenhang, je weicher also das Eisen ist. Dadurch ist die Thatsache erklärt, dafs weiches Eisen leichter magnetisierbar ist als Stahl und dergl. Es ist Aufgabe des Elektrotechnikers, das für seine Maschinen erforderliche Eisen auf diese Eigenschaften hin zu untersuchen. In Fig. 9 ist das verschiedene Verhalten der Eisensorten durch Kurven dargestellt. Die Stärken des magnetisierenden Feldes (H) sind als Abscissen und die des in dem Eisen erzeugten als Ordinaten aufgetragen.

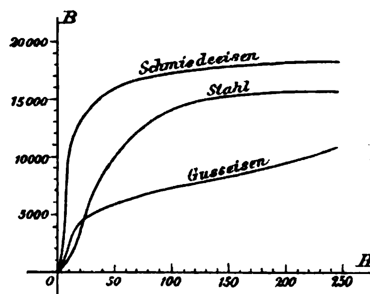


Fig. 9.

Verfolgen wir nun den Vorgang der Magnetisierung an einem Hufeisenmagneten (Fig. 10) näher, so finden wir, dafs bei geringem H

anfangs die Kraftlinien nur so schwach und gering sind, dafs sie im Innern des Hufeisens verbleiben. Wächst *H*, so wird die Zahl *B* gröfser, die Kraftlinien treten heraus in den umgebenden Luftraum.

Man sagt, es findet eine **Streuung** der magnetischen Kraftlinien statt. Wird den Polen ein Eisenstück genähert, so durchdringen die Linien dieses; es bilden sich **magnetische Kreise**; das Eisenstück wird festgehalten und zwar um so fester, je stärker der Magnet und damit die Kraftlinienzahl wird. Wir können uns, trivial ausgedrückt, in diesem Falle die Kraftlinien als Bindfäden vorstellen, die durch „gedachte“ Durchbohrungen des Eisenstückes, des **Ankers**, hindurchgehen und so diesen tragen. Werden die Bindfäden oder magnetischen Kraftlinien infolge Verstärkung des magnetischen Feldes zahlreicher und stärker, so wird die Tragkraft des Magneten um so gröfser werden.

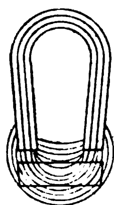


Fig. 10.

Das Eisen, welches zu elektrotechnischen Zwecken verwendet werden soll, mufs also auf seine Magnetisierbarkeit, seine Permeabilität und auf magnetische Streuung untersucht werden. Diese, wie einige andere später zu besprechende Eigenschaften hängen von der natürlichen Beschaffenheit des Materials sowie von der Form (Länge und Querschnitt) ab, in der es für gegebene Fälle zur Verwendung kommt.

Zweiter Vortrag.

Der elektrische Strom.

Bekanntlich zeigte Galvani am Ende des 18. Jahrhunderts, dafs man zwei Metalle durch innige Berührung der beiden elektrisch, und zwar das eine positiv, das andere negativ elektrisch machen kann. Volta wies dann ergänzend nach, dafs zum Zustandekommen des Versuches zwei verschiedene Metalle erforderlich sind, und dafs, wenn ein „**Strom**“ entstehen soll, noch eine Flüssigkeit bezw. Säure nötig ist. Wir wollen hierauf einstweilen noch nicht näher eingehen, sondern wollen annehmen, wir hätten irgend eine Elektrizitätsquelle, sei es nun in Gestalt eines oder mehrerer galvanischer Elemente oder auch einer Dynamomaschine. Es soll nämlich zunächst versucht werden, eine Beziehung zwischen dem elektrischen Strome und dem magnetischen Felde zu finden.

Der Strom wird aus diesem Grunde durch einen mit zwei Klemmen versehenen, senkrecht stehenden Draht geleitet (Fig. 11), der durch einen Karton oder eine Glasplatte hindurchgeht. Es werden unter Beobachtung derselben Maſsregeln wie früher Eisenfeile auf den Karton bezw. die Platte gestreut: die Eisenfeile ordnen sich in Kreisen um den Leiter an, deren Zusammenhang mit der Entfernung von diesem abnimmt. **Der galvanische Strom ist also ebenfalls imstande, ein magnetisches Feld in seiner Umgebung hervorzurufen.**

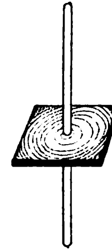


Fig. 11.

Dem Drahte werde nun die Form einer Spule (Fig. 12) gegeben und ebenfalls ein elektrischer Strom hindurchgeleitet. Dann wird die Spule, da die Kraftlinien der einzelnen Windungen in einander übergehen, der Länge nach von den Kraftlinien durchzogen werden. Wir bringen nun einen an einer kräftigen Spirale aufgehängten Cylinder weichen Eisens in die Nähe der oberen Spulenöffnung. Beim Schlieſsen des Stromes wird der Eisenkern (Fig. 12) hineingezogen, indem er die in der Spule erzeugten Kraftlinien in sich konzentriert. Bei Verstärkung des Stromes erfolgt weitere Einziehung des Kernes. Wir haben damit ein Mittel erlangt, das zur Messung der Stärke des Stromes dienen kann. Ein solches Instrument ist in Fig. 13 abgebildet. Die Dehnung der Spirale ist vermittelst eines Hebelwerkes auf einen gröſseren Zeiger übertragen. (Hartmann u. Braun, Max Kohl.)

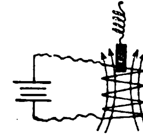


Fig. 12.

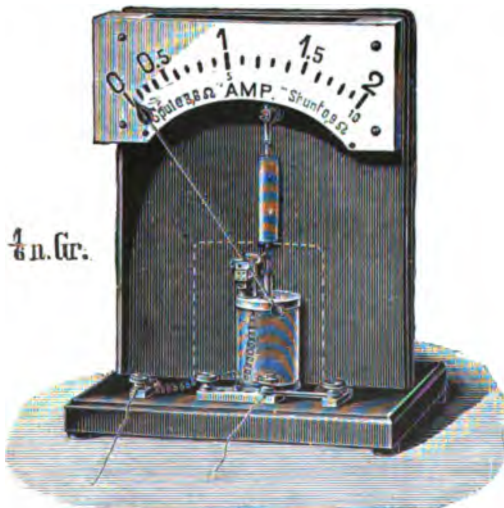


Fig. 13.

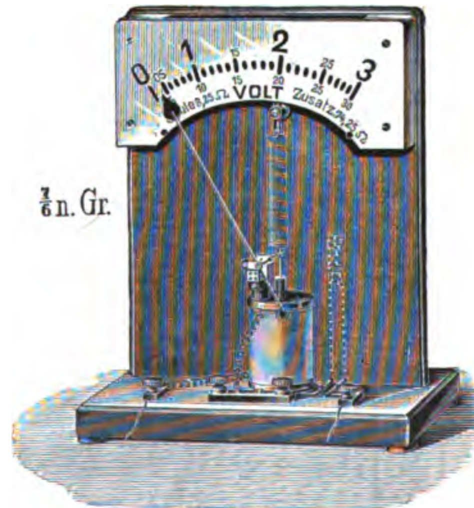


Fig. 14.

Fig. 14 zeigt ein dem vorigen ganz ähnliches Instrument; es ist von jenem nur dadurch verschieden, dafs die Spule aus zahlreicheren Windungen dünneren Drahtes besteht. Der Grund dieser Anordnung mufs uns vorläufig gleichgültig bleiben. Es genügt zu wissen, dafs das erste Instrument zum Messen der Stromstärke, das zweite dagegen für Spannungsmessungen dient.

Wir haben hier ohne weiteres den Begriff der Stromstärke und Spannung eingeführt, ohne beide zu erklären. Das soll jetzt an der Hand eines Versuches mit fliefsendem Wasser in Röhren geschehen. Dazu bedienen wir uns der in Fig. 15 skizzierten Anordnung:

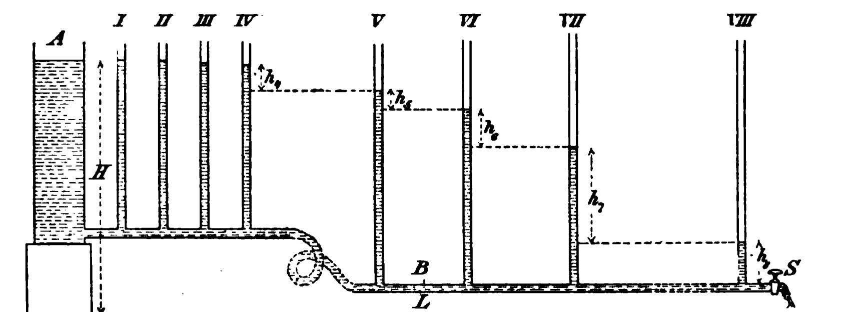


Fig. 15.

A ist ein gröfserer Wasserbehälter, der das Wasser wegen seiner erhöhten Stellung mit einem gewissen Drucke (= *H* mm) in die Leitung *L* drückt. Die Röhren *I* bis *VIII* sind Röhren, deren Wasserstand ein Mafs für den Druck in der Leitung an der betreffenden Stelle giebt. Ist der Hahn *S* geschlossen, so steht das Wasser in allen Röhren gleich hoch; das Wasser in der Leitung fliefst **nicht**. *S* wird geöffnet: die Röhren *I* bis *IV* zeigen nahezu gleichen Stand, da sie sehr nahe an *A* den Druck messen. Mit wachsender Entfernung von *A* werden die Drucke geringer, damit die Druckunterschiede gröfser. **Der Druck nimmt also mit der Länge der Leitung ab.** Würde an irgend einer Stelle, z. B. in *B*, der Querschnitt bedeutend verringert werden, indem man das Rohr dort zu einer Kapillare auszieht, so würde ein bedeutender Druckabfall, vielleicht sogar nahezu auf Null in *VI* zu beobachten sein. Es treten also auch bei zu engem Rohr Druckverluste auf. Es wird aus der Leitung in *S* eine Minute lang das Wasser in einen Cylinder aufgefangen, ebenso in *VII*, *VI*, *V*, *IV*. Je mehr die Ausflufsöffnung nach *A*, also nach Stellen höheren Druckes verlegt wird, um so mehr Wasser fliefst in der Minute aus. Die Anzahl der in der Minute ausfliefsenden Liter Wasser giebt uns

ein Mafs für die Stromstärke des Wassers. Sie wächst in direktem Verhältnis zum Drucke, der in mm Wassersäule gemessen wird. Aufserdem wird die Stromstärke durch Reibungsverluste im Rohre beeinflufst. Man kann diese Verluste gewissermafsen einem **Widerstande** zuschreiben, den das Wasser in der Leitung findet. Die Abhängigkeit der drei Gröfsen kann alsdann durch folgende Beziehung wiedergegeben werden:

$$\frac{\text{Stromstärke}}{\text{(Wassermenge in l. pro Min.)}} = \frac{\text{Druck (in mm)}}{\text{Widerstand (Reibung etc.)}}.$$

Einen dem vorigen entsprechenden Versuch führen wir jetzt mit unserem elektrischen Strom aus und achten dabei auf die verschiedene Schaltungsweise des Stromstärke- (A) und des Spannungsmessers (V) (Fig. 16).

Vom Element aus fliefst der Strom durch mehrere Drahtleitungen, die verschieden grofsen Widerstand bieten. Wir messen die Spannungsunterschiede an verschiedenen Stellen und finden, dafs jene um so gröfser sind, je gröfser der Widerstand der Drahtleitung zwischen den zu messenden Stellen wird. Wird aber die Spannung gröfser bezw. geringer, so zeigt auch das Stromstärkeinstrument gröfsere bezw. geringere Stromstärke an; dasselbe geschieht, wenn der Widerstand geringer bezw. gröfser wird.

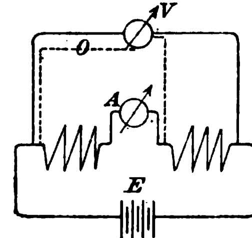


Fig. 16.

Der Druck in der Leitung des fliefsenden Wassers entspricht nun der Spannung bezw. der elektromotorischen Kraft in dem Elemente und die Druckdifferenzen entsprechen den Spannungsunterschieden an den verschiedenen Stellen der Leitung. Der Reibungswiderstand in dem Rohre findet seine entsprechende Gröfse in dem elektrischen Leitungswiderstande der Drähte. Ersetzen wir daher die Ausdrücke in der vorigen Beziehung durch die eben besprochenen, so haben wir:

$$\frac{\text{Stromstärke}}{(A)} = \frac{(E)\ \text{Spannung (elektromot. Kraft) bezw. Spannungsdifferenz}}{(W)\ \text{Widerstand}}.$$

Damit haben wir das **Ohm'sche Gesetz** gefunden, das für uns von grofser Bedeutung ist. — Wir fassen das Ergebnis unseres Versuches dahin zusammen:

Im galvanischen Element müssen Spannungsunterschiede vorhanden sein, wenn überhaupt ein Strom in der Leitung fliefsen soll. Nehmen wir also nur zwei verschiedene Metalle und keine Flüssigkeit dazwischen, so kann kein Strom auftreten, da an allen Stellen die Spannung dieselbe ($+E = -E$) ist, also die Spannungsdifferenzen $= 0$ sind.

Nehmen wir noch eine Flüssigkeit hinzu, so ist die Spannung bezw. elektromotorische Kraft, die durch Berührung des einen Metalles (sagen wir Zn) mit der Säure hervorgerufen wird, eine andere als diejenige, welche durch das andere (Cu) mit der Säure erzeugt wird. In dem die Platten verbindenden Drahte tritt daher ein Strom auf, der beständig von den Stellen höherer Spannung zu Stellen niederer Spannung fliefst. Würden wir zwei Platten desselben Metalles genommen haben, so würden die Spannungen an beiden Platten dieselben gewesen sein; es wären keine Spannungsunterschiede vorhanden und infolgedessen das Entstehen eines Stromes unmöglich gewesen*).

Wir fügen hier nur noch hinzu, dafs man die Spannung (elektromotorische Kraft) durch Volt, die Stromstärke durch Ampère, den Widerstand durch Ohm mifst, so dafs das Ohm'sche Gesetz dann lautet:

$$(A)\ \text{Ampère} = \frac{\text{Volt}\ (V)}{\text{Ohm}\ (W)}.$$

Die genauere Festlegung dieser Gröfsen kann erst später erfolgen. Hier wollen wir nur noch an der Hand des Versuches der Wasserleitung einen weiteren Begriff ableiten:

Würden wir mit dem bei S ausfliefsenden Wasserstrome Arbeit leisten wollen, so würde deren Grösse offenbar von der Wassermenge und dem Drucke an der Ausflufsstelle abhängen. Sie würde durch das Produkt Wassermenge $\times$ Druck dargestellt sein und durch Kilogrammometer bezw. Pferdestärken gemessen werden. Bei S würde die Arbeitsleistung bedeutend geringer sein als bei V. An erstere Stelle würde ein Wasserrad fast gar nicht, an der zweiten dagegen sehr kräftig angetrieben werden. Da nun die Wassermenge der Stromstärke, gemessen in Ampères, und der Druck der Spannung in Volts entspricht, so stellt das Product: Volt $\times$ Ampère die Arbeitsleistung des elektrischen Stromes dar. Das Mafs dafür ist das **Watt**, d. h. 1 Watt = 1 Volt $\times$ 1 Ampère. Zwischen der mechanischen und der elektrischen Arbeitsleistung besteht die wichtige Beziehung:

1 Pferdstärke = 736 Watt.

*) Man denke an die zwei in Säure stehenden Bleiplatten eines ungeladenen Accumulators.

Dritter Vortrag.

Wirkungen des elektrischen Stromes. Ampère, Ohm und Volt.

Um nun uns von den im Ohmschen Gesetze vorkommenden Begriffen: Ampère, Ohm, Volt eine genauere Vorstellung zu machen und ihre Gröfse zu bestimmen, müssen wir zuvor einige Wirkungen des elektrischen Stromes kennen lernen.

Unter eine Nadel, welche in die Richtung *NS* einspielt, wird in derselben Richtung (magnetischer Meridian) ein Strom hindurchgeführt: die Nadel schlägt nach einer bestimmten Seite hin aus (in Fig. 17 wird der Nordpol aus dem Papier heraustreten). Wir kehren durch irgend eine Vorrichtung die Stromrichtung um: der Nordpol zeigt nach der entgegengesetzten Seite. Wir können diese Erscheinung also zur Bestimmung der Richtung eines Stromes in einem Leiter benutzen, indem wir die sogenannte Ampère'sche Regel bezw. **„Rechte Hand-Regel"** aufstellen:

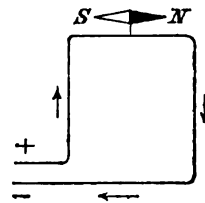


Fig. 17.

Man denke die rechte Hand so in den Strom gelegt, dafs der positive Strom bei der Handwurzel ein-, zu den Fingerspitzen hinaustritt und die innere Handfläche der Nadel zugewendet ist; dann zeigt der Daumen nach dem Nordpol hin.

Die Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom gestattet uns also schon **zweierlei** nachzuweisen: 1) das Vorhandensein, 2) die Richtung des elektrischen Stromes. Doch kann sie auch zur **vergleichsweisen** Messung der Stärke des elektrischen Stromes dienen. Über das Wie giebt uns folgende Überlegung Aufschlufs (Fig. 18):

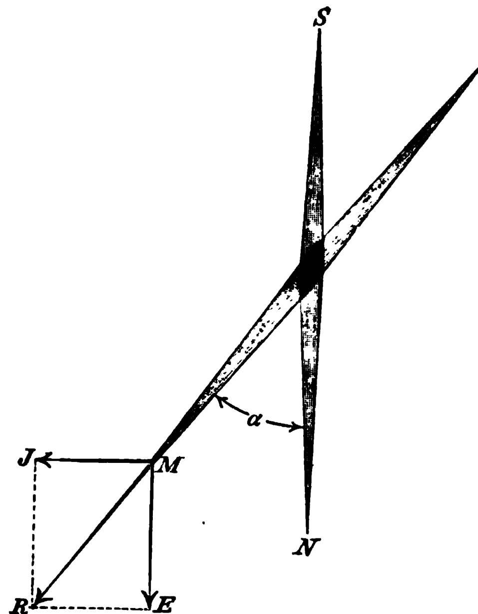


Fig. 18.

Die Magnetnadel wird, wenn weiter keine Kräfte wirken, unter dem Einflusse

des magnetischen Feldes ($H = ME$) der Erde die Richtung NS erhalten. Ein durch den vorüberführenden Draht fliefsender Strom ($J = MJ$) sucht die Nadel senkrecht zu NS zu stellen. Nach der Regel vom Parallelogramm der Kräfte nimmt dann die Nadel die Richtung der Resultante an und bildet so mit NS den Winkel α. Man hat die Beziehung:



Fig. 19.

$$J = H \cdot \mathrm{tg}\,\alpha.$$

H bleibt im allgemeinen an demselben Orte dasselbe; J ist veränderlich. Der Ausschlag α wächst mit zunehmendem J.

Wir können die Wirkung des J auf die Nadel dadurch bedeutend verstärken, dafs der Strom nicht in einer Windung, sondern in zahlreichen Windungen um die Nadel herumgeführt wird. Man erhält so äufserst empfindliche Instrumente, welche kleine Stromstärken ($\frac{1}{1000}$ Amp. und weniger) noch deutlich angeben. (Galvanoskope, Galvanometer Fig. 19.) Wir werden uns späterhin eines solchen zum Nachweis äufserst schwacher Ströme bedienen. (S. 7. Vortrag.)

Wie empfindlich diese Instrumente nun auch immer sein mögen,

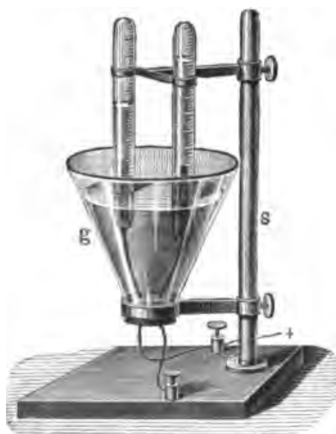


Fig. 19a.



Fig. 19b.

so gestatten sie dennoch nicht ohne weiteres die Ablesung der Stromstärke in Ampères. Sie können eben zunächst nur zur Vergleichung der Stärken verschiedener Ströme dienen. Um auch direkt Ampères messen zu können, müssen wir uns einer weiteren Wirkung des elektrischen Stromes, nämlich der chemischen Wirkung bedienen. In die durch Hähne verschliefsbaren Schenkel einer U-förmigen Röhre, die mit Wasser angefüllt ist, ragen Platinbleche hinein (Fig. 19a)*). Ein hineingeschickter Strom zersetzt das Wasser in der Weise, dafs sich am negativen Pole Wasserstoff und am positiven Pole Sauerstoff abscheiden. Mit steigender Stromstärke werden in derselben Zeit gröfsere Mengen der Gase abgeschieden. — Wir ändern unsern Versuch dahin ab, dafs die beiden Platinbleche in einen gemeinsamen Wasserbehälter mit Gasableitungsrohr gesetzt werden (**Voltameter**, wohl zu unterscheiden vom **Voltmeter**), und fangen das Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff (Knallgas) in einem Mefsrohr auf (Fig. 19b). Gleichzeitig schalten wir ein bereits geaichtes Instrument (A) ein (Fig. 20). Zeigt das Ampèremeter 1 Amp., so werden im Mefsrohr in einer Minute 10,44 ccm Knallgas aufgefangen, bei 5 Amp.: 5 $\times$ 10,44 ccm = 52,20 ccm etc. Wie man auf solche Weise umgekehrt das Instrument *A* aichen kann, ist wohl leicht einzusehen. Doch läfst man bei genauen Aichungen nicht Wasser sondern Silbernitrat (Silbervoltameter) zersetzen und definiert: **1 Ampère ist diejenige Stromstärke, welche aus einer Silbernitratlösung 1,118 mg Silber pro Sekunde niederschlägt.** — Gewöhnlich aicht man durch Vergleich mit Normalinstrumenten.

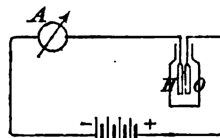


Fig. 20.

Dem Vorstehenden möge hier noch nachstehender Versuch hinzugefügt werden: Die alkalische Reaktion der Kalilauge, Natronlauge etc. K(OH), Na(OH) kann man bekanntlich an der starken Rötung durch Phenolphtaleïn erkennen. Läfst man nun eine Lösung von Glaubersalz (Na_2SO_4) durch den elektrischen Strom zersetzen, so scheidet sich am **negativen** Pole des Metall **Natrium** ab, welches sofort das Lösungswasser unter Bildung von **Natronlauge** zersetzt. Wurde der Lösung also vorher Phenolphtaleïn hinzugesetzt, so wird sie jetzt am negativen Pole rot gefärbt. Damit hat man ein Mittel, die Pole einer Leitung bestimmen zu können. Ähnlich ist auch ein Versuch mit Jodkalium und Stärkelösung, da das am + Pole abgeschiedene Jod die Stärke dunkelblau färbt.

Wir haben demnach folgende Mittel, um die Richtung unseres Stromes zu bestimmen:

*) Hier ist der Apparat etwas einfacher wiedergegeben.

1) Mit Hülfe der Ablenkung der Magnetnadel nach der Rechten-Handregel. (Stromrichtungszeiger.)
2) Mit Jodkaliumstärkekleister getränktes Papier (+ = blau).
3) Polreagenspapier: Glaubersalz und Phenolphtaleïn (— rot).
4) Polsucher: wie 3. (Fig. 20b) (Max Kohl-Chemnitz).

Wir kommen jetzt zu der zweiten Gröſse im Ohm'schen Gesetze, dem Widerstande. Werner Siemens schlug als Einheit (S.E.) den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt vor. Aus theoretischen Gründen ist jetzt endgültig, auch durch Reichsgesetz, das **Ohm** (Ω) als Widerstandseinheit eingeführt worden:

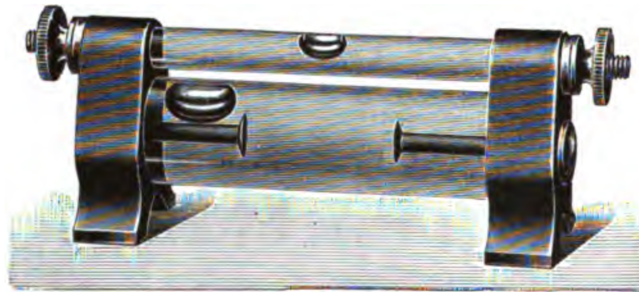


Fig. 20b.

Ein Ohm (Ω) ist der Widerstand einer Quecksilbersäule von 1,063 m Länge und 1 qmm Querschnitt. Schon aus dieser Definition ergiebt sich, daſs der Widerstand von drei Gröſsen: der Länge, dem Querschnitte und der Substanz des Leiters abhängen wird. Ist nämlich:

l die Länge des Leiters in **Metern,**
q der Querschnitt in **Quadratmillimetern,**
s das spezifische Leitungsvermögen,

bezw. $c = \frac{1}{s}$ der spezifische Leitungswiderstand,

so ist der Widerstand (W) des Leiters ausgedrückt in Ohms (Ω):

$$W = \frac{l}{q \cdot s} \quad \text{bezw.} \quad W = \frac{l}{q} \cdot c.$$

Daſs der Widerstand von der Substanz abhängig ist, zeigt folgender Versuch. Durch eine Kette von gleich dicken Platin- und Silberdrähten (immer abwechselnd) wird ein Strom geschickt. Die Platindrahtstücke glühen, die aus Silber nicht. Ferner zeigen wir die Abhängigkeit vom Querschnitte an einer Kette aus dicken und dünnen Platindrähten. Die dünnen erglühen beim Durchgange des Stromes am stärksten.

Nachstehend sind die Widerstandsverhältnisse für die wichtigsten Drahtsorten angegeben.

Substanz:	s	$c = \frac{1}{s}$	Widerstand eines Drahtes von 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt:
Silber	59	0,016	0,0159 Ω
Kupfer.............	55 — 58	0,0172	0,0174 „
Zink..............	15	0,063	0,0590 „
Eisen.............	6 — 10	0,09 — 0,15	0,1042 „
Messing...........	10 — 14	0,07 — 0,09	0,0707 „
Neusilber.........	2,4 — 6	0,16 — 0,40	0,3010 „
Beleuchtungskohle .	0,02	50 (?)	47,700 „ (56,000)
Manganin.........	2,2	0,43	0,430 „
Konstantan........	1,9	0,50	0,550 „
Nickelin	2,3	0,42	0,420 „

Ein Kupferdraht von 200 m Länge und 10 qmm Querschnitt wird also einen Widerstand von $\frac{200}{10 \cdot 55} = 0{,}363\ \Omega$ haben. Ein Draht derselben Substanz von 500 m Länge und 1 Ω Widerstand mufs einen Querschnitt $= \frac{500}{1 \cdot 55} = 9{,}00$ qmm haben. Bei allen diesen Berechnungen ist daher stets darauf zu achten, dafs die **Längen** in **Metern**, die **Querschnitte** dagegen in Quadrat**millimetern** angegeben sind.

Wir wollen jedoch nicht unterlassen, an dieser Stelle hervorzuheben, dafs der Widerstand auch noch von der Temperatur derart abhängig ist, dafs er mit dieser steigt. Um die Richtigkeit dieser Behauptung darzuthun, wollen wir die folgenden klassischen Versuche Davys hier anführen:

1) Ein (Platin- oder Eisen-) Draht wird so dimensioniert, dafs er, in den Stromkreis einer starken Stromquelle eingeschaltet, eben auf Rotglut erhitzt wird. Wir erwärmen nun eine Stelle des Drahtes durch eine Spirituslampe oder einen Bunsenbrenner zur Weifsglut: der übrige Teil des Drahtes hört ganz zu glühen auf; denn der Widerstand ist (durch die Erwärmung) so grofs und dadurch der Strom so schwach geworden, dafs letzterer den Draht nicht mehr zum Glühen bringen kann.

2) Wir kühlen nun eine Stelle des Drahtes durch Eis: der Widerstand des Drahtes wird abnehmen, der Strom also wachsen und der Draht alsbald stärker glühen.

Ein weiteres Experiment besteht darin, dafs wir irgend eine Drahtspirale (isoliert oder auch unisoliert) in Wasser (oder noch besser Öl) legen und den Strom (sehr schwach) der Reihe nach diese Spirale, einen Widerstand und das Galvanometer durchfliefsen lassen. Die Stromstärke wird so reguliert, dafs das Galvanometer einen sehr grofsen

Ausschlag (möglichst bis ans Ende der Skala) zeigt. Wird nun das in einem (Glas-) Behälter befindliche Wasser erwärmt, so wird der Ausschlag des Galvanometers immer geringer, ein Beweis für die Zunahme des Widerstandes mit der Temperatur. (Elektrische Heiz- und Kochapparate.)

Diese Eigenschaft der Metalle mufs bei Drahtwiderständen, Mefsinstrumenten etc. wohl berücksichtigt werden.

Eigenthümlich ist das Verhalten der **Kohle: Ihr Widerstand nimmt mit der Temperatur ab***).

Ein ähnliches Verhalten zeigen auch die Magnesia und andere Erden. Ein Magnesiastäbchen wird (nach Ruhmer) mit einer Platinspirale umwunden und ein hochgespannter Strom hindurchgeschickt**). Es treten zunächst Funken zwischen den einzelnen Drahtwindungen auf, da der Widerstand des Magnesiastabes noch zu grofs ist. Nach einigen Sekunden glüht er rot; die Funkenerscheinung hört auf, da jetzt der Strom durch das Stäbchen hindurchgeht. Nach weiteren Sekunden wird das Stäbchen auf Weifsglut gebracht; es leuchtet sehr stark — **Nernstsches Licht.**

Nachdem nun die Gröfsen Ampère und Ohm festgelegt worden sind, kann die dritte Gröfse, das Volt, nur mit Berücksichtigung des Ohm'schen Gesetzes definiert werden. Schreibt man dieses:

$$A \cdot W = E$$

und setzt $A = 1$ Amp., $W = 1\,\Omega$, so wird die linke Seite der Gleichung $= 1$; das mufs dann auch mit der rechten der Fall sein, d. h. $E = 1$ Volt. Wir definieren danach:

1 Volt ist diejenige Spannung oder elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter vom Widerstande 1 Ohm einen Strom von 1 Amp. erzeugt.

Vierter Vortrag.

Die wichtigsten galvanischen Elemente und ihre Schaltungsweisen. Serien- und Parallelschaltung. Änderung des Mefsbereiches von Ampèremetern und Voltmetern.

Das einfachste galvanische Element (die Volta'sche Säule) wird bekanntlich dadurch erhalten, dafs in ein mit verdünnter Schwefelsäure (1 Raumteil H_2SO_4 + 10 Raumteile H_2O) gefülltes Glas- oder

*) Man sehe den entsprechenden Versuch im Vortrage XVIII.

**) Siehe die Anordnung Fig. 251 a, wo an Stelle von $z_1, z_2, z_3, \ldots$ das Stäbchen zu denken ist.

Porzellangefäſs je eine Kupfer- und Zinkplatte gesetzt wird. Das Wesentliche einer galvanischen Kette ist ja, wie erst Volta nachwies, die Thatsache, daſs stets zwei **verschiedene** Metalle und mindestens **eine Flüssigkeit** erforderlich sind. Würden wir **nur** zwei Metalle nehmen, so würde durch ihre Berührung zwar das eine +, das andere — elektrisch werden; es könnten jedoch keine Spannungsunterschiede auftreten; daher würde kein **Strömen** der Elektrizität bei Verbindung beider Platten durch einen Draht auftreten. Dasselbe würde der Fall sein, wenn man zwei Platten **desselben** Metalles in eine Säure thun würde, da dann an beiden Platten dieselbe Spannung herrscht. Erst wenn wir, wie oben gesagt wurde, zwei **verschiedene** Metalle nehmen, entstehen durch deren Berührung mit der **ebenso notwendigen** Flüssigkeit **Spannungsdifferenzen.** Verbinden wir nun die beiden Platten durch einen Leitungsdraht, so findet ein beständiges Strömen von den Stellen höherer (Spannung) nach denjenigen niederer Spannung statt. Die Elektrizitäten würden schlieſslich zur Ruhe kommen, d. h. die Spannungen würden sich ausgleichen, wenn nicht beständig die durch Berührung der Platten mit der Säure erregten elektromotorischen Kräfte neue Elektrizitätsmengen in die Leitung drücken würden. Und doch tritt bei dem beschriebenen Element nach einiger Zeit eine bedeutende Abnahme der Stromstärke ein, die schlieſslich sogar auf Null sinken kann. Woher mag das kommen? Erinnern wir uns zunächst, daſs Volta seine sogenannte Spannungsreihe aufstellte, welche lautet: + **Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle** —. Nach dieser Reihe wird jedes vorangehende Metall in Berührung mit einem nachfolgenden positiv, das letztere negativ elektrisch. Danach wird bei unserem Element der positive Pol **im Element** beim Zink, der negative beim Kupfer sein. An dem ersteren scheidet sich nach dem früher Gesagten Sauerstoff bzw. Säure (SO_3) ab, während der Wasserstoff sich am Kupfer absetzt. Diese Gase verhalten sich nun gewissermaſsen wie zwei neue Platten. Sie erzeugen einen dem ersten (primären) Strome **entgegengesetzten Strom** (sekundären oder Polarisationsstrom). Dieser wächst um so mehr an, je länger das Element arbeitet, und kann dann so stark werden, daſs das Element vollständig geschwächt wird. Wir werden später von dem Auftreten dieses Polarisationsstromes nützlichen Gebrauch bei der Konstruktion der Accumulatoren machen. Hier jedoch ist die Erscheinung durchaus störend. Wir müssen das Element als **inkonstant** bezeichnen und uns nach Mitteln umsehen, dem Übel abzuhelfen. Dies gelingt uns, wenn wir noch eine zweite Flüssigkeit hinzunehmen; wir kommen so zu den **konstanten Elementen.** Ihre Beständigkeit wird dadurch erreicht, daſs man für „Verbrennung“ des

am negativen Pole auftretenden Wasserstoffes sorgt. Wie das erreicht wird, werden wir bei den einzelnen Elementen kurz angeben.

1) Das **Daniell-Element.** Ein Kupfercylinder steht in Kupfervitriollösung. In das Innere wird ein Thoncylinder gesetzt, der die verdünnte Schwefelsäure und einen Zinkbolzen von möglichst grofser Oberfläche aufnimmt. Am Zink scheidet sich O ab, der mit dem Zn Zinkoxyd bildet. Dieses liefert mit der Schwefelsäure Zinksulfat. Am negativen Pole scheidet sich dagegen Wasserstoff ab, der sofort auf das Kupfervitriol einwirkt. Es entsteht Schwefelsäure und Kupfer; dieses schlägt sich auf dem Kupfercylinder nieder, so dafs dieser immer dicker wird. Wie ersichtlich, ist der Wasserstoff verbraucht und damit das Entstehen eines Polarisationsstromes vermieden (Fig. 21).



Fig. 21.



Fig. 22.

Eine Abänderung des vorstehenden Elementes, die viel bei der Telegraphie verwendet wird, ist das **Meidinger**-Element. Es unterscheidet sich von dem vorigen nur durch die besondere Anordnung der Platten und durch einen besonderen Behälter (Ballon), der festes Kupfervitriol enthält, das zur Aufrechterhaltung des Konzentrationsgrades der Lösung dient. Die Schwefelsäure ist durch eine Bittersalzlösung ersetzt.

2) Das **Bunsen-Element.** Ein Zinkcylinder befindet sich wieder in verdünnter Schwefelsäure. Der Thoncylinder nimmt konzentrierte Salpetersäure und Retortenkohle von prismatischer Form auf. An der

Kohle (—) wird wieder Wasserstoff abgeschieden, der mit der sauerstoffreichen Salpetersäure Wasser und salpetrige Säure bildet (Fig. 22).

Die nun folgenden Elemente sind gewissermaſsen nur als **halbkonstant** zu bezeichnen. Sie wurden seiner Zeit viel im Laboratorium und für Klingelanlagen gebraucht.

3) Das **Taucher-, Flaschen- oder auch Bunsen-Element.** Zwei zu **einem** Pole verbundene Kohlenplatten haben zwischen sich eine hochziehbare Zinkplatte. Die Flüssigkeit besteht aus einer Auflösung von doppeltchromsaurem Kali bezw. doppeltchromsaurem Natron in Schwefelsäure und Wasser. Die anfangs hellrot gefärbte Flüssigkeit wird mit der Zeit immer dunkler und muſs dann erneuert werden.

4) Das **Leclanché-Element.** Ein Kohlencylinder ist in einen mit Braunsteinpulver gefüllten Thoncylinder eingestampft; einige Firmen liefern statt dieser Anordnung einen einfachen Braunsteincylinder. Im übrigen wird das Element mit Salmiaklösung gefüllt, in der ein Zinkbolzen steht (Fig. 23).



Fig. 23 a.



Fig. 23 b.



Fig. 23 c



Fig. 23 d.

In den letzten Jahren haben die „**Trockenelemente**" besonders für Klingel- und sonstige Signalanlagen an Bedeutung sehr gewonnen. Sie sind keine Trockenelemente im eigentlichen Sinne des Wortes. Die doch durchaus notwendige Flüssigkeit von irgend welcher Art ist nur durch einen bestimmten Stoff: Sägespäne oder dergl. aufgesaugt, und das ganze Element ist oben durch eine Pechschicht oder sonstiges Flüssigkeit nicht durchlassendes Material geschlossen. Im übrigen befindet sich in diesen Elementen meistens Kohle und Zink. Die Art der Flüssigkeitsanordnung bringt es mit sich, daſs diese Elemente zwar eine ziemlich hohe und, bei den neueren, auch sehr beständige Spannung haben, aber einen unverhältnismäſsig groſsen **inneren** Wider-

stand aufweisen, so dafs die gelieferte Stromstärke und damit die Arbeitsleistung ($J \cdot E$) nicht sehr grofs ist. Als häufig gebrauchte Elemente führen wir an:

a) das Hellesen-Element der Firma S. u. H. (Fig. 24a u. b),

b) das „Watt"-Galvanophor-Element von Limann u. Oberlaender,

c) „Dauer-Element" von Dr. Alb. Lessing-Nürnberg,

d) das „Columbus"-Element der Trockenelemente-Fabrik Ludwigshafen.

Bei diesen ist der die Flüssigkeit aufsaugende Stoff vermieden. Es befindet sich im Element wirklich Flüssigkeit, die nur durch einen wasserdichten Verschlufs abgeschlossen wird. Der innere Widerstand ist daher gering und mithin die Stromstärke recht bedeutend*).



Fig. 24a.



Fig. 24b.

Bei allen Elementen ist natürlich hinsichtlich der Polarität zu beachten, dafs die Pole **aufserhalb** des Elementes umgekehrt liegen wie innerhalb. Hat man beispielsweise beim Bunsenelement, gemäfs der Voltaschen Spannungsreihe, **im** Element den + Pol am Zink, den — Pol an der Kohle, so ist aufserhalb des Elementes der + Pol an der Kohle, der — Pol am Zink. Da ja Zink an erster Stelle in der Spannungsreihe steht und bei **allen** Elementen Zink als eine Platte vorkommt, so kann man sich als allgemeine Regel merken, dafs der positive Strom **im** Element vom Zink zur Kohle oder Cu etc., aufserhalb dagegen stets zum Zink fliefse.

Bei jedem Element sind nun **zwei** Grössen stets konstant:

*) Die Firma giebt „Kurzschlufs"-Stromstärken von 8—25 Amp. an, je nach der Gröfse des Elementes.

1) die elektromotorische Kraft oder Spannung (E). Sie ist unabhängig von der Gröfse der Platten und wird nur durch deren Art bestimmt;

2) der innere oder der wesentliche Widerstand (w_i). Er ist abhängig von der Gröfse und dem Abstande der Platten, sowie von der Beschaffenheit der Flüssigkeit.

Wird nun das Element durch zwei Drähte von geringem Widerstande (~ 0) geschlossen, ohne dafs äufserer Widerstand (w_a) eingeschaltet ist, so sagt man, das Element sei „**kurz**“ geschlossen. In diesem Falle ist die Stromstärke die möglichst **gröfste**. Ein Bunsenelement hat zum Beispiel ein $E = 1{,}9$ V. und häufig ein $w_i = 0{,}1$ bis 0,15 Ω. Es kann also bei Kurzschlufs in diesem günstigen Falle eine Stromstärke $J = \frac{1{,}9}{0{,}1} = 19$ Amp. bezw. $\frac{1{,}9}{0{,}15} = 12{,}6$ Amp. erzeugen. Nicht so günstig liegt die Sache bei den meisten Trockenelementen. Bei ihnen kann w_i ein bis mehrere Ohms betragen. Nehmen wir an, es sei $w_i = 1{,}5$ und $E = 1{,}2$ V., so ist J bei Kurzschlufs nur 0,8 Ampères.

Als Übersicht der elektromotorischen Kräfte, inneren Widerstände, Kurzschlufs-Stromstärken und Leistungen in Watt der verschiedenen besprochenen Elemente diene die nachstehende Tabelle. Ihre Angaben können naturgemäfs nur annähernd richtig sein, da die Plattengröfsen und Konzentrationsgrade der Lösungen doch selbst bei demselben Typus etwas schwanken.

	Elektromot. Kr. (E. M. K.)	Innerer Widerst. w_i	J bei Kurzschlufs	Leistung in Watt $= J \cdot E$.
1. Daniell	1,1 V.	0,4 Ω	2,8 Amp.	3,08 Watt
2. Meidinger	1,0 „	7,00 „	0,14 „	0,14 „
3. Bunsen	1,9 „	0,15 „	12,6 „	23,94 „
4. Taucherelement	1,9—2 V.	0,3 „	6—7 „	11—14 „ Bei einer so starken Beanspruchung sinkt jedoch die Stromstärke sehr schnell, da sich der innere Widerstand infolge von Zersetzungsvorgängen sehr vergröfsert.
5. Leclanché	1,5 V.	0,4 Ω	3,7 Amp.	5,6 Watt
6. Hellesen	?	?	?	?
7. Watt-Galvanophor	1,2 V.	1,5 Ω	0,8 Amp.	0,96 Watt
Modelle				
8. „Columbus“ .. B 0	?	?	8,0 „	nach Angabe der Firma.
B 1			15,0 „	
B 2			18,0 „	
B 3			25,0 „	

Wir wollen nun mehrere Elemente desselben Typus, z. B. drei „Watt"-Elemente auf verschiedene Weisen schalten und jedesmal Spannung und Stromstärke mit Hülfe der in Fig. 13 u. 14 abgebildeten Instrumente messen. Zuvor stellen wir durch Messung fest, daſs jedes der drei Elemente für sich eine $EMK = 1{,}2$ V. und $J = 0{,}5$ Amp. hat*).

1) Die drei Elemente werden so mit einander verbunden, daſs immer die Zinkplatte des einen mit dem Kohlenpole des andern in Verbindung steht: wir sagen, die Elemente sind **hintereinander** oder **„in Serie"** oder „auf Spannung" geschaltet. Es zeigt sich, daſs die Spannung jetzt 3,6 Volt beträgt; sie hat sich also verdreifacht. Bei n Elementen würde sie $= n \cdot 1{,}2$ sein. Es war das auch nicht anders zu erwarten; denn die ganze Schaltung ist von der Art wie die von drei Gefäſsen mit Wasser, die man 1, 2, 3 Meter hoch stellt und durch Röhren mit einander verbindet. Der Druck wird unten dreimal so groſs sein als bei einer Flasche in 1 Meter Höhe. — Die Stromstärke ist in unserem Falle nicht sehr gewachsen, nämlich nur auf ca. 0,7 Amp. Das ist aber auch erklärlich, wenn man bedenkt, daſs der Strom dreimal (n mal) nacheinander einen Widerstand von 1,5 Ω zu überwinden hat. Der Widerstand des Ampèremeters (w_a) beträgt 0,9 Ω. Der innere Widerstand ist nach dem Gesagten $3 \cdot 1{,}5 = 4{,}5\,\Omega\,(n \cdot E)$.

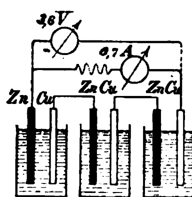


Fig. 25.

Dann ergiebt sich die Stromstärke aus der für die Serienschaltung wichtigen Formel:

$$(1) \qquad J = \frac{n \cdot E}{n \cdot w_i + w_a},$$

oder

$$J = \frac{3 \cdot 1{,}2}{3 \cdot 1{,}5 + 0{,}9} = \frac{3{,}6}{5{,}4} = 0{,}66 \text{ Amp.} \sim \mathbf{0{,}7} \text{ Amp.}$$

Würden wir für unsere Serienschaltung Elemente von geringerem inneren Widerstande verwendet haben, so würde sich natürlich die Stromstärke als bedeutend gröſser herausgestellt haben. So ist z. B. für drei Bunsenelemente, in „Serie" geschaltet:

$$J = \frac{3 \cdot 1{,}9}{3 \cdot 0{,}15 + 0{,}9} = \mathbf{4{,}2} \text{ Amp.}$$

Wird der äuſsere Widerstand w_a in Formel (1) sehr klein (0,1 Ω und weniger), die Zahl n der Elemente sehr groſs, so kann w_a gegen

*) Die Stromstärke beträgt nur 0,5 Amp. und nicht 0,8, wie in der Tabelle angegeben, da das zur Verwendung kommende Ampèremeter einen Widerstand $= 0{,}9\,\Omega$ hat, so daſs $J = \frac{1{,}2}{1{,}5 + 0{,}9} = 0{,}5$ ist.

das weit gröfsere Produkt $n \cdot w_i$ vernachlässigt werden. Die Formel lautet also:

$$(1a) \qquad J = \frac{n \cdot E}{n \cdot w_i} = \frac{E}{w_i}.$$

Man hat also dieselbe Wirkung wie bei **einem** Element, das **kurz** geschlossen wird. Die Serienschaltung ist demnach hauptsächlich für gröfsere äufsere Widerstände (z. B. bei Telegraphenleitungen etc.) bestimmt.

2) Es mögen nun sämtliche Zink- und ebenso alle Kohlenplatten der drei „Watt"-Elemente unter sich verbunden und dann beide Reihen wieder durch das Voltmeter bezw. Ampèremeter geschlossen werden. Es stellt sich jetzt heraus, dafs die Spannung **1,2 Volt** (wie bei **einem** Element!) **geblieben** ist; nur die Stromstärke ist auf ca. 0,75 Amp. angewachsen. Dieses Ergebnis kommt uns ebenfalls nicht unerwartet. Die Anordnung ist dieselbe, als wenn drei gleiche Gefäfse mit Wasser alle in derselben Höhe von 1 m aufgestellt und ihre Ausflufsröhren zu einem gemeinsamen Rohr geleitet werden. Der Wasserdruck wird derselbe wie bei einem Gefäfs in 1 m Höhe sein; nur die Wassermenge pro Minute ist, wenn keine Reibungsverluste etc. stattfinden, nicht dieselbe. —

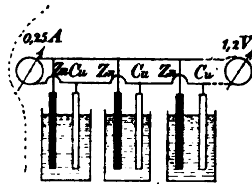


Fig. 26.

Man nennt die angeführte Schaltungsart **„Parallelschaltung"**. Es sind alle gleichnamigen Pole unter sich verbunden worden. Die Platten sind gewissermafsen zu je einer drei-(n-)mal so grofsen angewachsen. Dafs je $\frac{1}{3}$ $\left(\frac{1}{n}\right)$ der Kohlen- bezw. Zinkplatte in einem besonderen Gefäfse steht, macht dabei nichts aus. Der Querschnitt ist auf alle Fälle drei-(n-)mal so grofs geworden; also ist (nach 3. Vortrag) der Widerstand nur $\frac{w_i}{n}$. Die **Parallelschaltung** hat demnach als charakteristische Formel:

$$(2) \qquad J = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + w_a} = \frac{nE}{w_i + n w_a}.$$

Sie unterscheidet sich von der für die Serienschaltung angegebenen nur dadurch, dafs im Nenner das w_a jetzt den Faktor n hat. Würde in diesem zweiten Falle $w_a \sim 0$ werden, so wäre das sehr günstig, da dann $J = \frac{nE}{w_i} = \frac{3 \cdot 1,2}{1,5} = 2,4$ Amp. würde. Bei drei Bunsen hätte man bei Kurzschlufs theoretisch sogar 38 Amp. Ein **grofser äufserer** Widerstand hingegen wird die Wirkung haben, dafs das w_i vernachlässigt werden kann. Dann ist:

$$J = \frac{nE}{n \cdot w_a} = \frac{E}{w_a}.$$

Man hat also ungefähr denselben Effekt, wie wenn man ein Element durch w_a schlieſst. Die Parallelschaltung eignet sich also im allgemeinen nur für kleinere äuſsere Widerstände.

3) Hat man nun beispielsweise einmal drei Elemente (z. B. Bunsen) in „Serie" geschaltet und ist die dadurch erreichte Spannung für den bestimmten Zweck hinreichend, nicht aber die Stromstärke, die eine gröſsere sein soll, so schaltet man eine zweite „Reihe" von vier Elementen zu der ersten parallel (Fig. 27). Dadurch wird eine gröſsere Stromstärke bei gleichbleibender Spannung erreicht. Hauptbedingung für den günstigen Erfolg einer Parallelschaltung ist jedoch, daſs die Spannungen aller parallel geschalteten Elemente gleich sind. Dies muſs, wie wir später sehen werden, auch bei dem Parallelschalten zweier Dynamomaschinen beachtet werden. Beide müssen vorher auf gleiche Spannung gebracht werden.

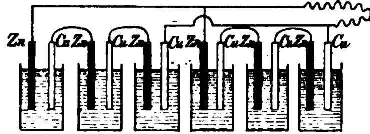


Fig. 27.

Die Begriffe der „Serien-" und „Parallelschaltung" werden jedoch nicht nur bei Elementen gebraucht, sondern gelten auch bei Schaltung von Instrumenten, Stromquellen und Widerständen:

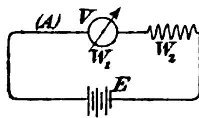


Fig. 28a.

1) In Fig. 28a sind das Instrument (hier Ampèremeter A von 0,9 Ω Spulenwiderstand $= W_1$), der Widerstand W_2 und die Stromquelle E in „Serie" geschaltet. Jede **Vergröſserung** des Widerstandes W_2 zieht eine **Verringerung der Stromstärke** nach sich und umgekehrt. In dieser Weise schaltet man gewöhnlich das Ampèremeter.

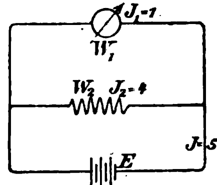


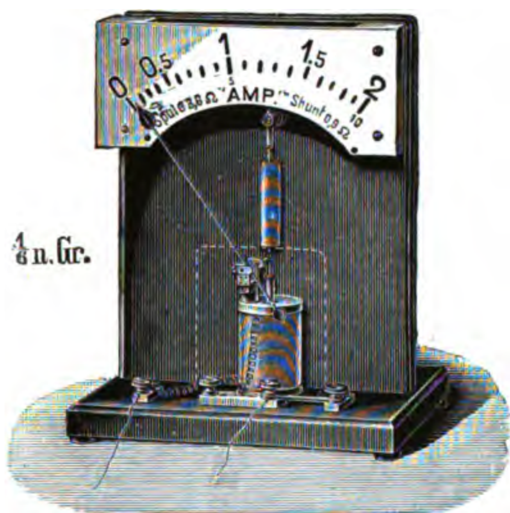
Fig. 28b.

2) In Fig. 28b sind die drei genannten Apparate parallel geschaltet. **Vergröſsert** man den **Widerstand** W_2, so **wächst** auch die Stromstärke in W_1 und umgekehrt. Diese Schaltungsweise ist die des Voltmeters.

Will man dagegen mit Hülfe eines Widerstandes den Meſsbereich des Ampèremeters bezw. Voltmeters erweitern, so ist die Sache gerade umgekehrt:

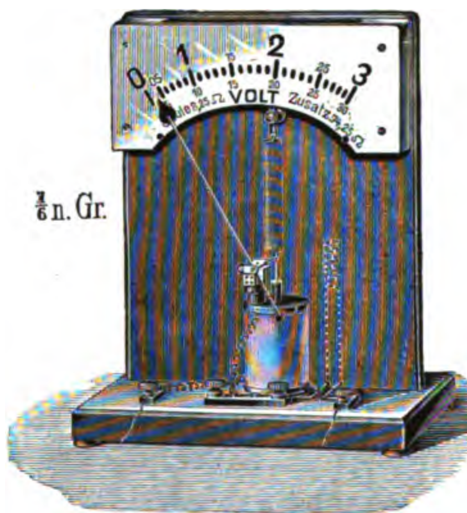
1) Es soll der Meſsbereich unseres Ampèremeters (Fig. 13) auf das fünffache erhöht werden. Zu dem Zwecke schalten wir parallel zu der Spule des Instrumentes einen Widerstand von bestimmter Gröſse (in der Figur ist seine Lage durch die gestrichelte Linie angedeutet). Man sagt auch wohl, der Widerstand W_2 sei in „Nebenschluſs" gelegt

(Fig. 28b). Die Widerstände W_1 und W_2 müssen sich umgekehrt wie die sie durchflieſsenden Stromstärken verhalten. Ist nun die Stromstärke in der Hauptleitung 5 Amp., so muss, da der Meſsbereich der fünffache sein soll, der durch die Spule flieſsende Strom J_1 nur 1 Amp. haben. Da ferner die Summe der Stromstärken $J_1 + J_2 = J =$ Amp. sein muſs, so ist $J_2 = 4$ Amp. Es muſs demnach das Verhältnis der Stromstärken $J_1 : J_2 = 1 : 4$, und daher das Verhältnis der Widerstände $W_1 : W_2 = 4 : 1$ erzielt werden. Wenn also der Spulenwiderstand $W_1 = 3{,}6\ \Omega$ (0,9 Ω) ist, so ist der Nebenschluſs oder shunt (W_2) $= 0{,}9$ (0,225) Ω. **Kurz gesagt besteht also das Prinzip der Erweiterung**



$\frac{1}{8}$ n. Gr.

Fig. 13.



$\frac{1}{8}$ n. Gr.

Fig. 14.

des Meſsbereiches eines Ampèremeter darin, daſs man nur einen Teil (hier $\frac{1}{5}$) des wirklich zu messenden Stromes zur Messung bringt. Wollte man den Meſsbereich des Instrumentes auf das 10fache erhöhen, so müſsten sich $J_1 : J_2 = 1 : 9$, mithin $W_1 : W_2 = 9 : 1$ verhalten, also $W_2 = \frac{1}{9} W_1$, d. h. in unseren Fällen ($W_1 = 3{,}6$ bezw. 0,9 Ω) wäre $W_2 = 0{,}4$ bezw. 0,1 Ω. Man kann auch allgemein sagen: **Soll der Meſsbereich das n-fache des ursprünglichen betragen, so muſs der Nebenschluſs $= \frac{1}{n-1} \cdot W_1$ sein, wo W_1 der Widerstand der Spule ist.**

2) Wir wollen auch für unser Voltmeter (Fig. 14) den Meſsbereich hinaufrücken. Dabei berücksichtigen wir, daſs ja das Voltmeter im Grunde nichts anderes als ein Ampèremeter ist, nur daſs es in Neben-

schlufs gelegt (parallel zur Stromquelle geschaltet) und dafs sein Widerstand (W_1) so grofs gewählt wird, dafs alle anderen (w_a) dagegen nahezu fortfallen. Dann lautet für den Zweig, in dem das Voltmeter liegt und an dessen Enden die ja zu messende Spannungsdifferenz E ist, das Ohm'sche Gesetz:

$$(3) \qquad J = \frac{E}{W_1} \quad \text{oder} \quad J \cdot W_1 = E.$$

Man braucht also nur die am Instrumente abgelesene Stromstärke J, sagen wir $= 0{,}5$ Amp., mit dem konstanten Widerstande, z. B. $= 200\ \Omega$, zu multiplizieren, um direkt die Spannung zu erhalten. Für das gewählte Beispiel wäre $E = 100$ Volt. Meistens ist es technisch nicht gut möglich, der Voltmeter-Spule allein schon einen so hohen Widerstand zu geben. Man schaltet dann noch einen Vorschaltewiderstand W_2 (Fig. 28a) in Gestalt einer zweiten Spule hinzu (siehe auch Fig. 290, 19. Vortrag). Es mufs dann $W_1 + W_2 = 200\ \Omega$ sein. — Genau so verfahren wir nun auch, wenn wir den Mefsbereich auf das 10-, 20- oder 30-fache erhöhen wollen. Es sei an unserem Voltmeter (Fig. 14) der Mefsbereich 1—3 Volt und der Widerstand der Spule $= 8{,}25\ \Omega$. Der Mefsbereich soll zunächst der zehnfache werden. Dann mufs in Formel (3) der Faktor W_1 zehnmal so grofs werden, d. h. wenn wir einen Augenblick $8{,}25\ \Omega = 1$ setzen, so mufs noch der 9-fache Widerstand hinzukommen, so dafs wird:

$$J(1 + 9) = E,$$
$$J \cdot 10 = E.$$

Es ist im gegebenen Falle ein Zusatzwiderstand $= 9 \cdot 8{,}25 = 74{,}25\ \Omega$ **in Serie** mit der Spule zu bringen. (In der Figur 14 rechts durch Punktierung angedeutet.) Für den zwanzigfachen Mefsbereich ist die Gröfse des Zusatzwiderstandes $= 19 \cdot 8{,}25\ \Omega$. Allgemein kann man sagen: **Ist der Widerstand eines Voltmeters $= W_1$ und soll der Mefsbereich auf das n-fache gebracht werden, so ist ein mit der Spule W_1 in Serie geschalteter Widerstand $W_2 = (n - 1)\, W_1\, \Omega$ erforderlich.**

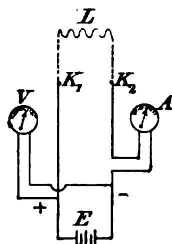


Fig. 29.

Über die gemeinsame Schaltungsweise von Voltmeter und Ampèremeter giebt uns das nebenstehende Schaltungsschema noch einmal kurzen Aufschlufs. Es ist: E die Stromquelle, V das in Nebenschlufs befindliche Voltmeter, A das in Serie geschaltete Ampèremeter; K_1, K_2 sind die zur Verbrauchsleitung L führenden Klemmen. Im allgemeinen zeigt das Voltmeter (falls es nicht mit Ausschalter versehen ist) einen Ausschlag, solange in E Strom

erzeugt wird, wenn auch in L kein Strom entnommen wird. Das Ampèremeter zeigt dagegen erst die J an, wenn L zwecks Stromentnahme geschlossen ist. Die Spannung V könnte natürlich auch an einer entfernteren Stelle der Leitung gemessen werden und würde dann natürlich **kleiner** ausfallen. Wird sie, wie hier, unmittelbar an den **Klemmen** gemessen, so liefert sie den Wert der sogenannten **Klemmspannung**. Die in der Tabelle auf S. 21 angegebenen Werte für E sind ebenfalls als die Klemmspannungen der Elemente aufzufassen.

Fünfter Vortrag.

Wärmewirkung. Magnetisierende Wirkung. Hysteresis.

Leitet man einen ziemlich starken Strom (5—10 Amp.) durch einen Draht von nicht zu geringem Widerstande, so wird man bald beobachten können, daſs der Draht sich erwärmt hat: ein Teil des Stromes, nämlich der durch den Widerstand vernichtete, hat sich in Wärme umgesetzt (Fig. 30). Lassen wir die Stromstärke noch weiterhin wachsen oder auch den Widerstand zunehmen, indem ein Draht von gröſserer Länge oder geringerem Querschnitte eingeschaltet wird, so werden die Stromverluste und damit auch die Wärmeentwickelung gröſser und gröſser. Ebenso wird diese sich um so mehr steigern, je länger man den Strom durch den Draht hindurchgehen läſst. Ist nun:

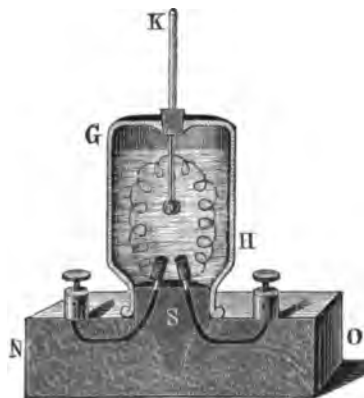


Fig. 30.

J die Stromstärke,
w der Widerstand des Drahtes,
t die Zeit, während welcher dieser von Strom durchflossen wird,
und Q die entwickelte Wärmemenge in Kalorien*),

so hat man die Beziehung, die sich auch experimentell beweisen läſst:

(1) $$Q = c \cdot J^2 \cdot w \cdot t$$

*) 1 Kalorie ist der hundertste Teil derjenigen Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 0° auf 100° C. zu erwärmen.

oder wenn man $w = \frac{l}{q \cdot s}$ setzt:

$$Q = c \cdot J^2 \cdot \frac{l}{q \cdot s} \cdot t,$$

wo $c \sim \frac{1}{424}$ ein konstanter Faktor ist.

Ist für einen bestimmten Betrieb daher die Betriebsstromstärke und ebenso die Länge der Leitung eine bestimmte, so kann einer zu grofsen Erwärmung und damit selbstverständlich verbundenen Energievergeudung nur dadurch vorgebeugt werden, dafs man q und s möglichst grofs nimmt, was nichts anderes heifst, als dafs man ein gut leitendes Leitungsmaterial (hohes s, z. B. Kupfer = 57—58) und hinreichend grofsen Querschnitt (q) für die Leitung wählt.

Da nun gewöhnlich die Leitungen aus Kupfer bestehen, so ist nur die letztere Bedingung zu erfüllen. Zur Vermeidung gefahrvoller Erwärmung etc. sind von dem Verbande deutscher Elektrotechniker Vorschriften erlassen worden, in denen für eine bestimmte Betriebsstromstärke gewisse kleinste Querschnitte für Kupferleitungen vorgeschrieben sind. Wir lassen hier eine kleine Tabelle daraus folgen und verweisen im übrigen auf die genannten Schriftchen, deren es drei (für Starkstrom-, Mittelspannungs- und Hochspannungsanlagen) giebt.

Der geringste Querschnitt soll für Starkstrom (bis 250 Volt) 1 qmm, an und in Beleuchtungskörpern 0,75 qmm, für Hochspannung dagegen (mehr als 1000 V.) 1,5 qmm betragen. Wie man die Instrumente etc. vor einem Anwachsen der Stromstärke über die dem Querschnitte entsprechende hinaus schützt, werden wir bei der Besprechung der Sicherungen und sonstiger Schutzmafsregeln (automatische Ausschalter) sehen.

Querschnitt in qmm:	Betriebsstromstärke in Ampère:
0,75	3
1,00	4
1,50	6
2,50	10
4,00	15
6,00	20
10,00	30
16,00	40
25,00	60
35,00	86
50,00	100
70,00	130
95,00	165
120,00	200
150,00	232
185,00	275

Querschnitt in qmm:	Betriebsstromstärke in Ampère:
240,00	330
310,00	400
400,00	500
500,00	600
625,00	700
800,00	850
1000,00	1000

Eine andere Wirkung des elektrischen Stromes ist die magnetisierende. Wir hatten schon früher festgestellt, dafs der elektrische Strom imstande ist, ein magnetisches Feld zu erzeugen. Wir leiten um die Schenkel eines hufeisenförmigen Eisenkernes einen anfangs schwachen elektrischen Strom (0,1—0,2 Amp.); seine Stärke kontrollieren und verändern wir, indem wir mit dem „Elektromagneten" und der Stromquelle ein Ampèremeter (*A*) und einen Widerstand (*W*) in Serie schalten. Die Polaritäten sind nach der Rechtenhandregel leicht zu bestimmen. Der Strom fliefst demgemäfs im linken Schenkel in einer zu der im rechten entgegengesetzten Richtung. Die Betrachtung der Pole von oben ergiebt: **Am Südpol fliefst immer ein Zeigerstrom, am Nordpol dagegen ein Gegenzeigerstrom.** (Man denkt dabei an den Lauf des Zeigers der Uhr.) (Fig. 31a.)

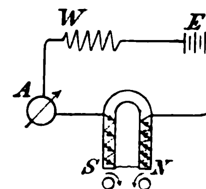
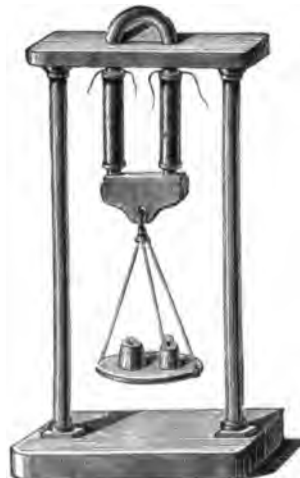


Fig. 31a.

Wir suchen nun bei geschlossenem Strom von 0,05—0,1 Amp. einen Anker nebst Schale an den Elektromagneten zu hängen (Fig. 31b). Der Anker bleibt nicht haften, da die Kraftlinien noch nicht zahlreich genug sind, um ihn halten zu können. Je mehr nun aber die Stromstärke gesteigert wird, um so fester haftet der Anker und um so mehr kg können auf die Schale gelegt werden. Ferner kann die Tragkraft noch dadurch gesteigert werden, dafs man den Strom in zahlreicheren Windungen als vorhin um die Schenkel kreisen läfst. **Die Stärke des magnetischen Feldes hängt mithin von der Stromstärke (*J*) und von der Anzahl der Windungen (*n*) ab, in denen der Strom den Eisenkern umkreist. Das Produkt $J \cdot n$ nennt man die Ampèrewindungen.** Von ihnen hängt die Stärke (*H*) des magnetischen Feldes der Elektromagnete ab. Ist


Fig. 31b.

z. B. die Stromstärke 10 Amp. und die Anzahl der Windungen 100, so zählen wir 1000 Ampèrewindungen.

Wir sind jedoch mit unserem Experimente noch nicht fertig. Die Stromstärke sei auf 5 Amp. gewachsen. Wir wollen sie nun durch Zuschalten von Widerstand in demselben Tempo **abnehmen** lassen, in dem sie **vorher gestiegen** ist. Man sollte annehmen, dafs dann die Tragkraft in demselben Mafse abnehmen wird. Das ist aber durchaus nicht der Fall. Die Tragkraft bleibt **gröfser**, als sie beim Erreichen derselben Stromstärke von unten her war. Ist unsere Stromstärke durch Unterbrechen des Stromes auf 0 gesunken, so ist die Tragkraft keineswegs 0. Der Anker nebst einer gröfseren Anzahl daran gehängter Gewichte werden noch kräftig angezogen. Wir müssen erst einen Strom in entgegengesetzter Richtung hindurchschicken und auf eine bestimmte Gröfse anwachsen lassen, bevor der Anker abfällt. Magnetisieren wir nun in demselben Sinne weiter, so geht genau derselbe Vorgang, wie vorhin, vor sich. Diese Erscheinung kann bei jeder Magnetisierung beobachtet werden und wird **Hysteresis** genannt. Sie ist darauf zurückzuführen, dafs beim Magnetisieren die Moleküle gedreht werden müssen (daher langsames Ansteigen des B) und dafs beim Entmagnetisieren die Moleküle in ihrer Drehung etwas hinter der entmagnetisierenden Kraft zurückbleiben. Den Rest von Magnetismus, welcher zurückbleibt, wenn J bereits auf 0 gesunken ist, nennt man **remanenten Magnetismus**. Dieser wird bei Stahl sehr grofs, bei weichem Eisen sehr klein sein. Auf alle Fälle wird beim Magnetisieren **Arbeit verbraucht**; der Eisenkern kann daher, wenn man das Verfahren in schneller Aufeinanderfolge wiederholt, sich erwärmen; ja, er kann zum Tönen gebracht werden; dies ist bei den Transformatoren der Fall, bei denen 100 und mehr Mal pro Sekunde die Magnetisierungsrichtung wechselt. Der Gang der Magnetisierung und die Erscheinung der Hysteresis werden uns durch nebenstehende Figur veranschaulicht. Es sind die magnetisierenden Kräfte (Anzahl der Kraftlinien H im magnetischen Felde) als Abscissen, die im Eisen erzeugten magnetischen Kraftlinien als Ordinaten abgetragen. Das von den Kurven eingeschlossene Fläckenstück stellt die Hysteresisarbeit dar.

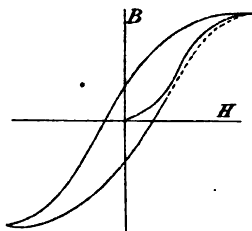


Fig. 32.

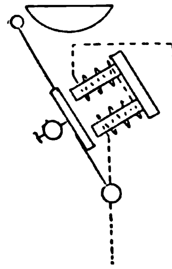
Diese Erscheinung spielt eine bedeutende Rolle bei den Wechselstromtransformatoren, z. T. auch im Anker der Dynamomaschinen etc.

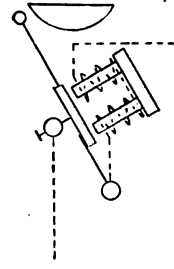
Sechster Vortrag.

Die elektrische Glocke. Elektrisches Grubensignalwesen.

Eine der wichtigsten Anwendungen des Elektromagnetismus ist die elektrische Glocke. Man kann zwei Arten derselben unterscheiden: 1) diejenige mit Einzelschlag, 2) diejenige mit Selbstunterbrechung.

1) Die Glocke mit Einzelschlag besteht aus dem Elektromagneten und dem vor dessen Polen federnd angebrachten Anker. Dieser ist mit einem Klöppel versehen. Wird der Strom in den Spulen des Magneten geschlossen und dadurch der Magnetismus erregt, so schlägt der Klöppel gegen die Glocke. Es erfolgt jedoch immer nur dieser **eine** Schlag, so lange bezw. wenn auch der Strom beständig geschlossen ist. Soll ein zweiter Ton hervorgerufen werden, so mufs der Strom erst durch den Druckknopf unterbrochen werden.


Fig. 33.


Fig. 34.

2) Bei der Glocke mit Selbstunterbrechung wird der Strom, der durch den Anker und einen Platinstift geht, gegen den jener infolge der Federkraft gedrückt wird, im Augenblicke des Anziehens des Ankers durch den Magneten auch schon unterbrochen. Dadurch geht der Magnetismus verloren, der Anker fliegt abermals gegen den Stift; der Strom ist wieder geschlossen, und das Spiel setzt sich so lange fort, als der Strom in der Leitung durch den Druckknopf geschlossen ist. Infolgedessen wird während der ganzen Zeit die Glocke ertönen.


Fig. 35.


Fig. 35a.

Diese Art der Ausführung der elektrischen Glocke ist die häufigere (Fig. 35).

Fig. 35a zeigt eine für Wechselstrom bestimmte Ausführung.

Für die Grube ist die Glocke jedoch in der gewöhnlichen einfachen Ausstattung nicht gut brauchbar; sie würde bald unter den in der Grube auftretenden schädlichen Einflüssen (namentlich Staub und Feuch-

tigkeit) versagen bezw. verrostet und vermodert sein. In Schlagwettergruben könnten durch den an der Platinspitze auftretenden Unterbrechungsfunken Schlagwetterentzündungen hervorgerufen werden. Von einer in der Grube dauernd verwendbaren Signalglocke müssen daher folgende Eigenschaften gefordert werden:

1) Die Glocke mufs gegen Staub und Feuchtigkeit gründlich geschützt werden.
2) Die Kontakte müssen so verbaut sein, dafs explosible Luftgemische überhaupt gar nicht an sie hinankommen können.

Alle diese Forderungen sind bei den von der Firma S. u. H.-B. seit einiger Zeit in den Handel gebrachten „Membranweckern" (Fig. 36)

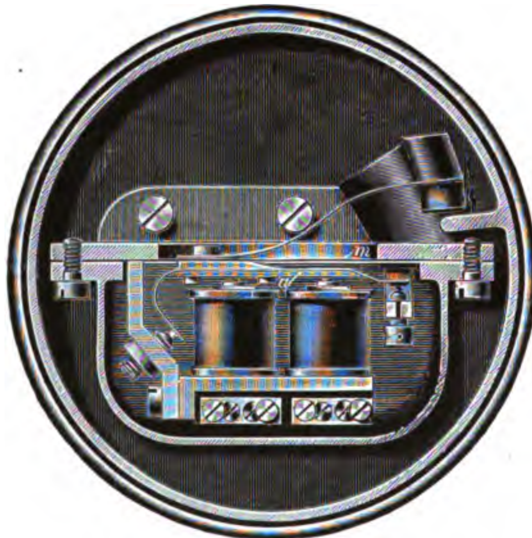


Fig. 36.


Fig 37.

in hohem Grade erfüllt: Der Elektromagnet nebst Anker *a* und Stiftkontakt sind in das Metallgehäuse eingeschlossen. Dieses wird durch die „Membran" *m* luftdicht verschlossen. An die Membran *m* ist nach innen der Anker *a*, nach aufsen der Klöppel befestigt; letzterer schlägt gegen einen an die Glocke angegossenen Vorsprung.


Fig. 38a.

Eine etwas andere, im Prinzip aber gleiche Ausführung zeigen die Fig. 37 u. 38. Bei der ersteren liegt die Membran hinter dem Magneten, zu welchem Zwecke die Polschuhe nach hinten umgebogen sind. Der ganze Verschlufs wird mit Hülfe einer Schutzkappe ausgeführt.

Bei der dritten Art ist die Membran zu einer Cylinderröhre ausgebildet. Die Glocken werden in entsprechender Weise auf die betreffenden Werke geschraubt.

Genau wie die eigentlichen elektrischen Glockenwerke müssen auch die zum Stromschlufs dienenden Druckknöpfe gut gegen die erwähnten schädlichen Einflüsse geschützt sein. Dies geschieht durch die in den Figuren 39a—d dargestellen Kontaktknöpfe.



Fig. 38 b.



Fig. 39 a. Einfacher Druckknopf.



b. Membrandruckknopf.



c. Grubentaste



d. Dieselbe mit Druckhebel.



e. Zugkontakt.



f. Schachtkontakt mit Schnurrolle.

Besonders die Grubentaste Fig. 39c scheint für die Praxis sehr geeignet. Ihre innere Einrichtung ist folgende (Fig. 40). Die Metallbacken *PP* werden durch die Federn $f_1 f_2$ unter möglichst spitzem Winkel zu einander gebracht, sodafs sie die Kontakte *K* nicht berühren. Drückt man nun auf *D*, so werden die Backen auseinandergedrückt und kommen mit *kk* in Berührung, wodurch der Strom geschlossen

ist. Läfst man nun D los, so fliegen PP vermöge der Federn $f_1 f_2$ sofort wieder zurück; der Strom ist unterbrochen; eine allzu lange Funkenbildung wird vermieden.

Was nun die Schaltung von Stromquelle, Druckknopf und Signalglocke anbelangt, so ist der einfachste Fall der, dafs man alle drei in Serie schaltet. Dann kann selbstverständlich nur von **einer** Station aus signalisiert werden. Das Läuten von dieser einen Station nach mehreren Glockenstationen würde einfach durch Serien- oder Parallelschaltung der Glocken erreicht werden.

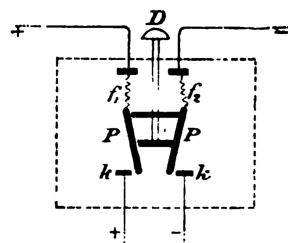


Fig. 40.

Sollen auch noch von mehreren Stellen Signale gegeben werden, so schalten wir alle dazu erforderlichen Druckknöpfe ($D_1, D_2, \ldots$) parallel (Fig. 41).

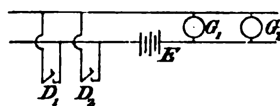


Fig. 41.

In der Grube, namentlich in den Förderstrecken, will man nicht nur von in gewissen Entfernungen liegenden Stellen aus signalisieren können, sondern man mufs dazu auch an jedem beliebigen Punkte, an dem die Leitung überhaupt vorbeiläuft, imstande sein. Am bequemsten wird das durch einfaches Zusammenknipsen zweier der nicht zu isolierenden Drähte geschehen können, falls diese genügend dick sind, so dafs die Berührungsfläche hinreichend grofs ist. Von diesem höchst einfachen Mittel macht man in der That Gebrauch. Die Leitungen müssen natürlich dementsprechend gelegt und ebenso die Apparate sinngemäfs geschaltet werden. Es lassen sich, je nach den Anforderungen, mannigfaltige Schaltungen anwenden. Wir greifen hier nur zwei bezw. drei ganz besonders häufige Fälle heraus.

1) „Durch Zusammenknipsen zweier Leitungsdrähte an einer ganz beliebigen Strecke soll **entweder** nach der **einen Richtung** (z. B. zum **Füllort** bezw. zur Maschinenstube) **oder** nach der **anderen Richtung** (zum **Anschlagspunkt**) ein Glockensignal gegeben werden.“

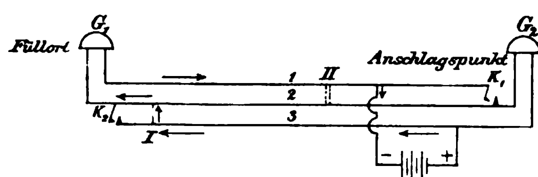


Fig. 42.

Um dieser Forderung zu genügen, ziehen wir in der betreffenden Strecke **drei** Leitungsdrähte von nicht zu geringem Querschnitt und schalten die Apparate nach dem Schema der Fig. 42.

Wenn die Leitungen mit *1*, *2* und *3* bezeichnet sind, so legen wir zwischen *1* und *2*, sowie zwischen *2* und *3* je eine Glocke (G_1 bezw. G_2) und einen Kontaktknopf (K_1 bezw. K_2). Die Pole der Batterie *2* werden an *1* und *3* gelegt. Durch Drücken auf K_1 läutet man nur nach G_2 (Anschlagspunkt) und ebenso bei K_2 nach G_1. Knipst man nun *2* und *3* an irgend einer Stelle (*I*, durch Punktierung angedeutet) zusammen, so wird in G_1 (Füllort) die Glocke ertönen, in G_2 nicht. Der dann erzeugte Stromkreis ist für diesen ersten Fall durch Pfeile angedeutet. Knipst man dagegen *1* und *2* in *II* (zwei punktierte Linien), so läutet es ausschliefslich in G_2. Man kann sich dabei als Regel merken, dafs wenn in der **Fahrtrichtung** signalisiert werden soll, immer die beiden am meisten nach links liegenden Drähte zu knipsen sind; umgekehrt, wenn rückwärts signalisiert werden soll, so sind die nach rechts gelegenen zu nehmen.

2) „Durch Zusammenknipsen zweier Drähte soll **gleichzeitig** nach **beiden Richtungen** (zum Füllort und zum Anschlagspunkt oder dergl.) das Signal gegeben werden."

Dieser Fall läfst sich auf zweierlei Weise behandeln:

a) Es sollen wieder, wie vorhin, **drei** Leitungen gezogen werden. Wir legen jetzt alle Glocken zwischen *1* und *2* und alle Taster zwischen *2* und *3*. Die Batterie liegt wieder an *1* und *3*. Die eigentlichen Signaldrähte sind in diesem Falle **nur** *2* **und** *3*; *1* ist nur Rückleitung. Werden also *2* und *3* an irgend einer Stelle geknipst, so läutet es auf **allen** Stationen. Ist bei G_1 der Schacht, so merkt man sich, dafs, wenn man vom Schachte wegfährt, die Signaldrähte zur Rechten, wenn man dagegen zurückfährt (nach G_1 hin), sie zur Linken liegen (Fig. 43).

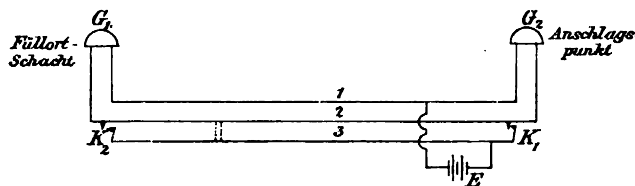


Fig. 43.

b) Da *1* nur Rückleitung ist, mit der kein anderer Draht zusammengeknipst wird, so kann man auch die **Erde** als Rückleitung nehmen. Es sind dann nur die Glocken und die Batterie zu „erden", d. h. mit der Erde in gut leitende Verbindung zu setzen, wie das ja auch in der Telegraphie geschieht (s. auch Fig. 48). Man wird vielleicht eine zweite Batterie an der ersten Station hinzuschalten, was an der Sache

auch nichts ändert. Das für diesen Fall gültige Schaltungsschema liefert die Fig. 44. Es bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Es braucht nicht noch besonders hervorgehoben zu werden, daſs auch noch mehr Glocken und Ausschalter parallel zu den angegebenen geschaltet werden können.

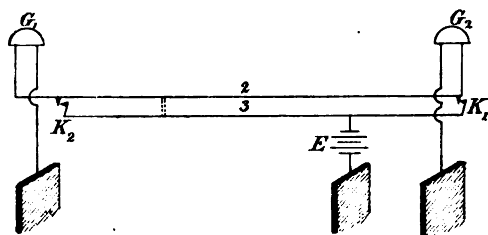


Fig. 44.

Für die Zusammenstellung der erforderlichen Batterien werden neuerdings fast ausschlieſslich **Trockenelemente** (Hellesen, Columbus etc.) verwendet. Doch kommen auch schon Accumulatoren in Gebrauch. Selbst Maschinenstrom (Gleichstrom oder Drehstrom) wird gebraucht, indem man die nötige Menge von der Hauptleitung abzweigt. (Z. B. Ferdinandgrube, O.S.) In solchen Fällen (namentlich bei höheren Spannungen) ist es nicht geraten, die Verbindung zweier Drähte zwecks. Signalisierung einfach von Hand herstellen zu lassen. Man versieht dann die auf der Strecke beschäftigten Schleppjungen mit kleinen Kontaktbügeln, die über die beiden Drähte gelegt werden.

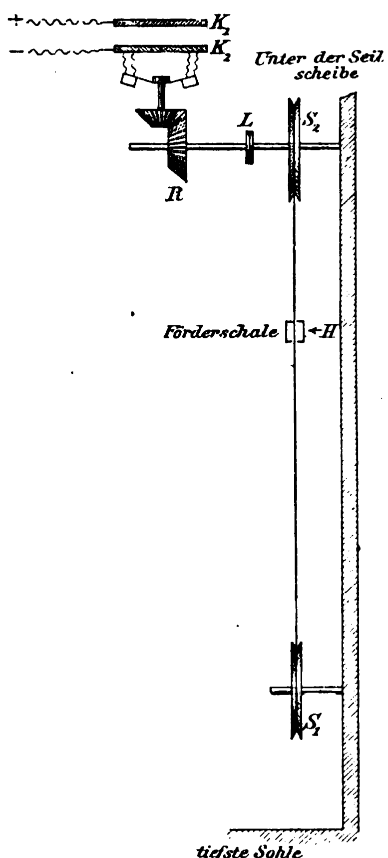


Fig. 45.

Die elektrische Glocke ist noch mancher anderweitigen Anwendung im Grubenbetriebe fähig. Es sollen hier nur noch einige charakteristische Beispiele angeführt werden.

1) **Schachtsignalanlagen:** a) Patent von Váca-Rosypal, installiert Tiefbauschacht zu Witkowitz in Mähren. Vgl. auch die Fig. 39 f.

Auf der tiefsten Sohle des Schachtes und ebenso unter der Seilscheibe ist je eine Scheibe (S_1 und S_2) (beide von gleichem Durchmesser) angebracht. Über diese Scheiben läuft ein Seil ohne Ende, das im Schachte demnach an der einen Seite der Schale

stets von dieser aus zu erreichen ist. Durch eine am Kopfe der Förderschale angebrachte Hemmung H, die durch ein Hebelwerk in Thätigkeit gesetzt wird, kann jederzeit — gleichgültig, ob die Schale herauf- oder herunterfährt oder ob sie steht — das Seil erfafst und so das Rollenpaar in Umdrehung gesetzt werden. Die Scheibe S_2 wirkt vermöge der Kuppelung L und der Kegelradübertragung R auf einen Apparat, der die Kontaktplatte K_1 bezw. einen Kontaktstift mit K_2 in Berührung bringt. Dadurch wird der Stromkreis geschlossen, und die am Maschinistenstande der Fördermaschine aufgestellte Glocke ertönt.

b) **Elektrische Förderschalen-Signalvorrichtung von Dekanowsky***). Auch bei dieser findet Signalgebung von der Schale aus zur Fördermaschine statt. Man hat:

α) **Den Zeichengeber.** Dies ist ein auf jeder Schale angebrachter Wechselstrominduktor mit Kontrollglocke (s. Fig. 57).

β) **Zeichenempfänger.** Diese bestehen in verschieden gestimmten Glocken, sodafs der Maschinenwärter unterscheiden kann, von welcher Schale das Zeichen kommt.

γ) **Die Leitung.** Die **eine** Leitung ist das **Förderseil.** Die sich daran anschliefsende, zu den Glocken führende Leitung ist an das Seilscheibenlager gelegt.

Die **zweite** Leitung besteht für jedes Schachttrum aus einer von der tiefsten Sohle bis zu den Seilscheiben führenden Kupferdraht- oder Stahllitzenleitung. Diese läuft zwischen gegenüberstehenden Kontaktrollen, die an Hebeln aufgehängt sind, welche durch eine Spiralfeder angezogen werden (Schleifkontakt).

Zur Schonung der Rollen und des Drahtes wird bei der Kohlenförderung der Kontakt abgestellt und nur bei der Seilfahrt der Apparat in Thätigkeit gesetzt. Zwecks Verhütung des Herausspringens des Leitungsdrahtes aus den Kontaktrollen ist die Hauptleitung durch Porzellanösen geführt, die am Kopf und Fufs der Förderschale von Winkeleisen getragen werden. Gleichzeitig wird die Hauptleitung dadurch in konstanter Entfernung von der Schale gehalten.

2) **Signalanlage beim Betriebe eines Ventilators.** (Hohenegger-schacht-Karwin.)

Falls durch irgend eine Ursache der einen Ventilator antreibende Elektromotor stille steht, darf dieser aus später (s. 11. Vortrag) zu erläuternden Gründen nicht mit voller Stromstärke anlaufen. Es mufs daher zunächst eine Ausschaltung des Motors erfolgen. Im allgemeinen bedürfen nun die elektrisch angetriebenen Ventilatoren **keiner** Wartung. Es wird daher gewöhnlich kein Mann im Ventilatorhause anwesend

*) S. Österr. Zeitschr. 1899. Nr. 7.

sein. Infolgedessen mufs, falls der genannte Fall eintritt, ein Signal nach dem Raume des Aufsichtspersonals hingegeben werden können. Dazu dient unter vielen anderen ähnlicher Art die Einrichtung der Fig. 46.

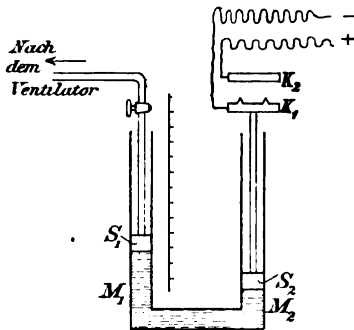
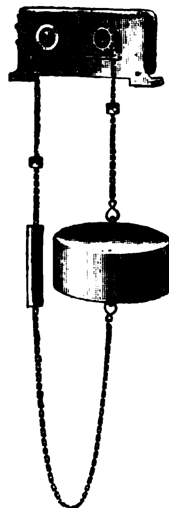


Fig. 46.

Das Manometer $M_1 M_2$ ist wie gewöhnlich an die Luftleitung des Ventilators angeschlossen. Die Schwimmer $S_1 S_2$ nehmen, falls der Ventilator läuft, d. h. auch **der Motor** im Betriebe ist, die angedeutete Stellung ein. Dann ist die mit Spitzen versehene Kontaktplatte K_1 nicht mit K_2 in Berührung. Der zur Glocke führende Strom ist mithin unterbrochen. Stellt nun der Motor und mit ihm der Ventilator seine Thätigkeit ein, so stellen S_1 und S_2 sich bekanntlich gleich hoch ein. Dadurch wird der Kontakt zwischen K_1 und K_2 hergestellt; die Glocke ertönt.


Fig. 47 a.

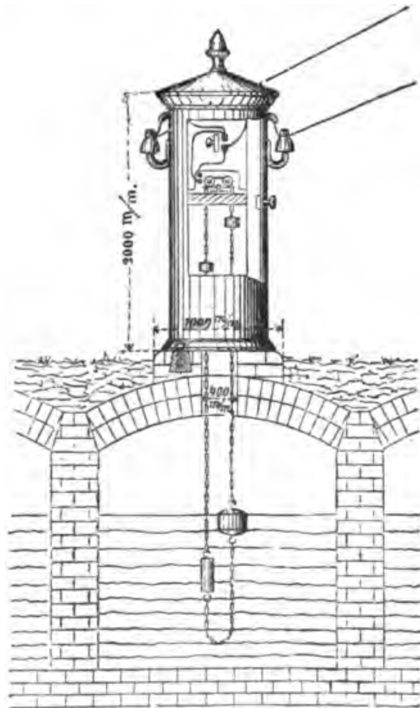


Fig. 47 b.

3) **Elektrischer Wasserstandsanzeiger von S. u. H.** Es kommt nicht selten vor, dafs Wasser von entfernteren Stellen her in einen

Behälter zu pumpen ist. Der die Druckpumpe beaufsichtigende Wärter mufs in diesem Falle wissen, wann das Reservoir gefüllt ist und wann er zu geringen Wasserstand hat; denn danach hat er ja den Gang der Pumpe zu regulieren. Um dieses zu erreichen, wird am Bassin die Vorrichtung Fig. 47a angebracht. Eine vollständige Anlage zeigt Fig. 47b. Ein Schwimmer (rechts) nebst Gegengewicht sind in eine Kette ohne Ende eingefügt, die über zwei Rollen läuft und aufserdem noch zwei Klemmen (Minimal- und Maximalklemme, Fig. 48) trägt. Eine doppelte Metallgabel wird durch zwei Federn für gewöhnlich in horizontaler Lage erhalten. Steigt nun das Wasser, so wird der Schwimmer gehoben und bei einer bestimmten Höhe auch der

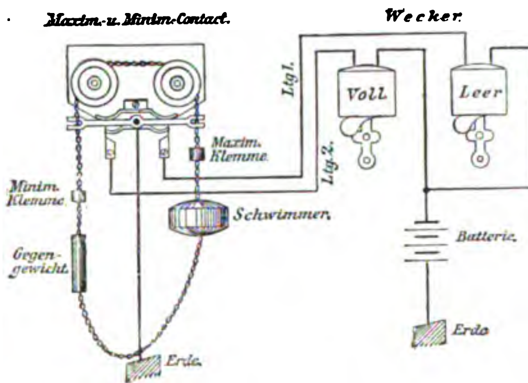


Fig. 48.



Fig. 49.

rechte Arm der Gabel, indem die Maximalklemme dagegen drückt und das Gegengewicht nachzieht. Infolgedessen kommt der linke Gabelarm mit dem linken (**unter** der Gabel angebrachten) Kontakt in Berührung. Dadurch ist, wie leicht ersichtlich, der durch Leitung 2 nebst „Erdleitung" und dem Kasten „Voll" (Fig. 49) gebildete Stromkreis geschlossen. Es wird auf elektromagnetischem Wege die Platte „Voll" zum Herabfallen gebracht. Sinkt dagegen der Wasserstand, so wird bei einem bestimmten Wasserstande der linke Gabelhebel durch die „Minimalklemme" gehoben und dadurch (rechter „Minimalkontakt") der Stromkreis der Leitung 1 etc. geschlossen. Es fällt also die Klappe in dem Kasten „Leer".

Für eine Entfernung von 1 km zwischen Schwimmerapparat und Signalvorrichtung und bei einem Bronzedraht von 2 mm Durchmesser sind 6 Leclanché-Elemente oder dergl. zu verwenden. Für jedes weitere Kilometer ist noch ein Element hinzuzunehmen.

Statt der Klappen können auch vollständige Zeigerapparate eingeschaltet werden (Fig. 50).

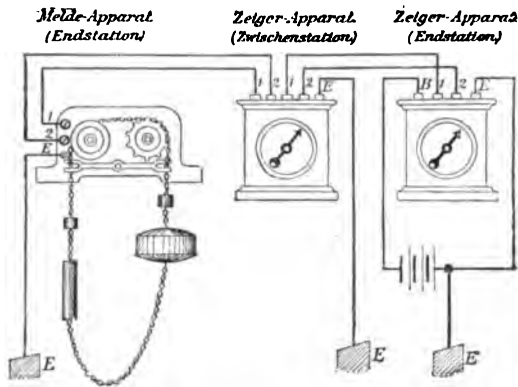


Fig. 50.

Häufig ist es erwünscht, die von der Hängebank nach den verschiedenen Sohlen gegebenen Schlagsignale (akustische Signale) durch an einer Skala mit Hülfe eines beweglichen Zeigers hervorgerufene **sichtbare** Zeichen zu unterstützen, zu kontrollieren oder gar zu ersetzen. Die Art dieser Schachtsignalisierung ist in letzter Zeit von S. u. H. bedeutend verbessert worden und auch schon auf mehreren Gruben Oberschlesiens (Hohenzollern-, Wildensteinsegen-Grube) mit Erfolg in Anwendung gekommen.

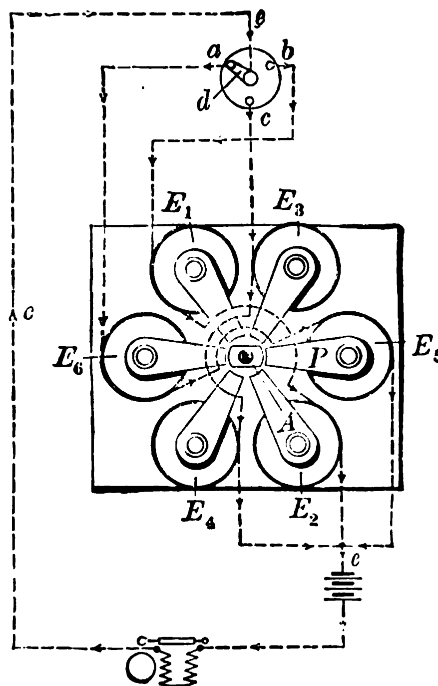


Fig. 51.

Den Hauptbestandteil dieses „Elektrischen Fernzeigers“ macht der sogenannte „Rollenmotor“ aus. Wir denken uns sechs Elektromagnete ($E_1 \ldots E_6$) sternförmig angeordnet (Fig. 51). Je zwei einander gegenüberstehende Magnete sind in Serie geschaltet. Alle Magnete sind mit Polschuhen versehen. Zwischen diesen Polschuhen ist ein Anker um eine zu den Achsen der Magnete parallele Achse beweglich. Fig. 52 zeigt den Rollenmotor im Aufrifs und Fig. 53 die Totalansicht.

Der „Sender“ hat die Form eines Kurbelkontaktes, während der Rollenmotor als Zeichenempfänger wirkt. Fig. 54 zeigt die Schaltung beider Apparate. Die ebenfalls in dem Stromkreise befindliche (durch Magnet-

wickelung und Anker angedeutete) elektrische Glocke dient nicht nur als Anrufesignal; ihr Läuten ist auch Zeichen dafür, daſs überhaupt Strom vorhanden ist. — Wird nun der Kontakthebel *d* beispielsweise auf den Kontakt *a* gestellt, so stehen, wie leicht aus

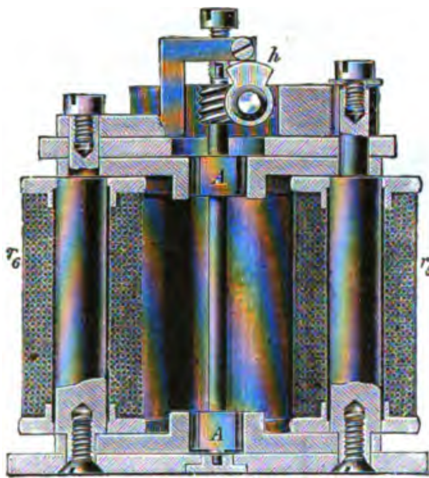


Fig. 52.

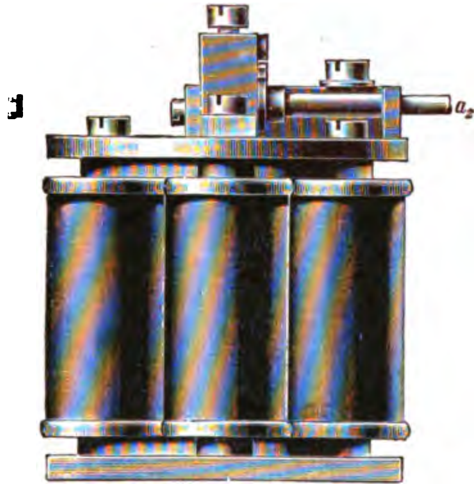


Fig. 53.

Fig. 51 ersichtlich ist, die Elektromagnete E_5 und E_6 unter Strom, während die übrigen stromlos sind. Der Anker stellt sich demgemäſs in die Richtung der Verbindungslinie der beiden Pole (E_5 und E_6)

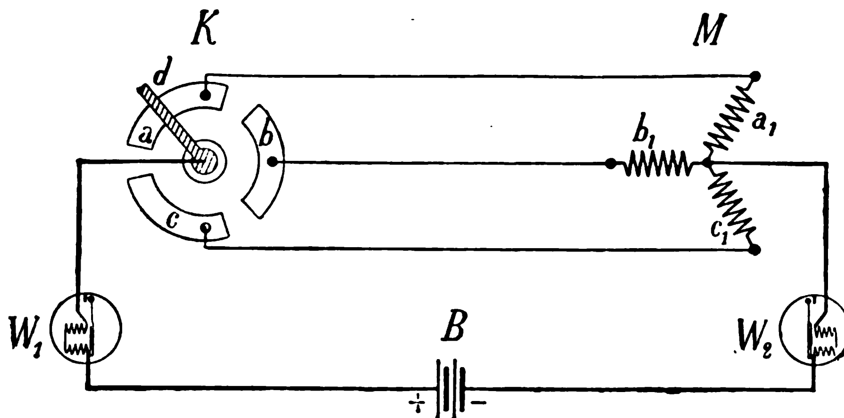


Fig. 54.

ein. — Nun ist jedoch leicht einzusehen, daſs durch diese Art des Zeichengebens nur sechs Stellungen des Ankers erzielt werden würden,

eine Zahl, die für manche Zwecke — z. B. für das Signalisieren nach mehreren Sohlen (Horizonten) — nicht genügen wird. Da helfen sich die Konstrukteure des Apparates nun dadurch, dafs sie den Zeiger nicht direkt auf den bewegten Anker setzen, sondern letzteren an seiner Achse mit einer Schraube ohne Ende versehen, die ihrerseits in ein Zahnrad greift, dessen Achse erst den Zeiger trägt. Ist nun das Übersetzungsverhältnis 1 : 6, so wird der Zeiger bei einer Umdrehung des Ankers erst einen Bogen von 60° machen. Wir können demnach die sechsteilige Skala (1. Halt, 2. Ziehen, 3. Hängen, 4. Langsam, 5. Pause, 6. Schicht) sechsmal auf der Signalscheibe anbringen. Eine solche entsprechende Übersetzung wird auch an dem Zeichengeber anzubringen sein. Die Skala läfst sich selbstredend je nach den verschiedenen Zwecken, denen sie dienen soll, verschieden ausstatten. Zwei Beispiele geben die Fig. 55a und 55b. Soll nach mehreren Sohlen signalisiert werden, so sind alle Signalfelder bis auf dasjenige, welches für die betreffende Sohle gültig ist, an dem auf der gedachten Sohle aufgestellten Apparate verdeckt.

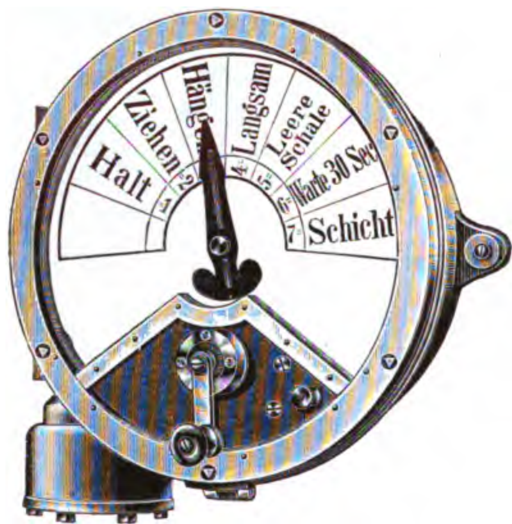


Fig. 55a.

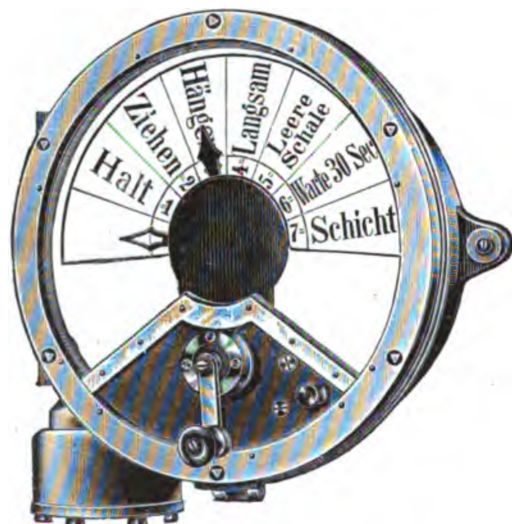


Fig. 55b.

Um Signale hin- und zurückgeben zu können, werden zwei Systeme der beschriebenen Art parallel geschaltet. Es ist klar, dafs dabei statt

acht Leitungen nur deren sieben nötig sind (Fig. 56). Die Apparate können mit Elementen oder Akkumulatoren, ja sogar mit etwa vorhandenem Maschinenstrom betrieben werden; der letzte Fall ist in der Fig. 56

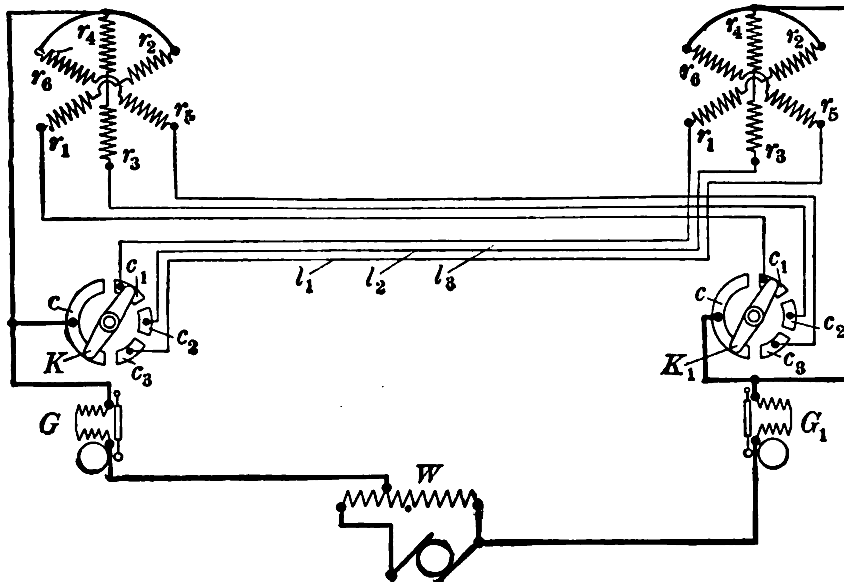


Fig. 56.

mit angedeutet. Das Äufsere eines fertigen Grubentelegraphen zeigen Fig. 55a und 55b.

Von der A. E. G-B. wird ein Drehfeld-Fernzeiger fabriziert. Er gestattet mit wenigen Leitungen (3) das Geben zahlreicher Signale. Seine Einrichtung ist ohne einige Kenntnis des „Drehfeldes“ nicht leicht verständlich. Da der Apparat für den Bergbau bisher anscheinend noch nicht verwendet worden ist, so ist seine Beschreibung hier einstweilen unterblieben.



Fig. 57.

Zum Geben einzelner und kräftiger Glockenzeichen eignen sich die „Magnetinduktoren für Grubensignalanlagen“ vorzüglich. Wir bemerken hier nur, dafs diese Apparate in der Hauptsache aus einem Systeme permanenter Magnete bestehen, zwischen deren Polen mittelst Kurbel eine Spule gedreht wird;

in dieser wird nach im folgenden Vortrage anzuführenden Gesetzen Strom erzeugt, der zur Signalglocke weiter geleitet wird. Die innere Einrichtung zeigt Fig. 252, den Einbau des Ganzen in einen wasserdichten Schutzkasten Fig. 57 (S. 43).

Die weiteren Anwendungen des Elektromagnetismus, wie die Regulierung der Bogenlampen und die automatischen Selbstausschalter, werden erst bei den betreffenden Kapiteln auseinandergesetzt werden.

Siebenter Vortrag.

Der Induktionsstrom und seine Beziehungen zum magnetischen Felde.

Unsere früheren Betrachtungen waren den Vorgängen im magnetischen Felde gewidmet. Wir bemerkten ausdrücklich, daſs wir das magnetische Feld nicht als Ebene, sondern als den ganzen **räumlichen** Bereich um die Pole eines Magneten herum aufzufassen haben, innerhalb dessen sich die Wirkungen des magnetischen Feldes zeigen. Unsere Darstellung durch Eisenfeile auf Glastafeln brachte eben nur einen **Schnitt**, der durch die Verbindungslinie der Pole gelegt war. Erst wenn wir uns das Bild einmal um diese Linie als Achse gedreht denken, haben wir das **ganze magnetische Feld** in seiner **räumlichen** Ausdehnung. Dies zeigen wir noch durch Bewerfen des Elektromagneten mit Nägeln; diese stellen sich **nach allen möglichen Richtungen** ein. Man kann bei einigem Geschick sogar Kraftlinien in verschiedenen Ebenen erhalten.

Wir heben hier ferner nochmals hervor, daſs die Stärke des magnetischen Feldes (H pro qcm) mit der Stromstärke (J) und der Anzahl der Windungen (n) wächst, so daſs wir das Produkt $J \cdot n$ als maſsgebend für die Feldstärke betrachten können. Wir nannten dieses Produkt $J \cdot n$ die **Ampèrewindungen**. Zwischen ein solches durch zwei von Strom umflossene Eisenkerne erzeugtes Feld lassen wir nun Eisenfeile fallen. Sie bilden, falls die Pole nicht allzu weit von einander entfernt sind, von einem Pol zum andern gehende Kraftlinien.

Diese Thatsache, daſs durch einen elektrischen Strom ein magnetisches Feld erzeugt wird, legt uns die Vermutung nahe, daſs umgekehrt durch ein magnetisches Feld auf irgend eine Weise in einem Leiter Strom erzeugt werden könne, gleichviel ob das magnetische Feld fest ist und der Leiter sich bewegt oder umgekehrt. **Bewegungen**

bezw. Änderungen in dem gesamten Zustande müssen jedenfalls stattfinden, wenn ein Strom entstehen soll.

Wir bringen in ein magnetisches Feld eine Spule, die mit Hülfe einer Centrifugalmaschine in dem Felde gedreht werden kann. Den in der Spule etwa zu erwartenden Strom leiten wir in das Galvanometer der Fig. 19. Drehen wir nun die Spule, so zeigt das Instrument in der That einen elektrischen Strom an.

Wir nennen einen auf diese Weise erzeugten Strom einen **Induktionsstrom.**

Bevor wir auf die mannigfachen Möglichkeiten des Entstehens dieses Stromes näher eingehen, stellen wir folgende Regeln auf, die aus theoretischen Betrachtungen (von Maxwell) gefunden worden sind und von uns vorläufig als Thatsachen hingenommen werden.

1) Wenn man sich im magnetischen Felde stehend denkt und vom Nordpol zum Südpol sieht, so wird der Verlauf der Kraftlinien in diesem Falle als der **positive** angesehen, was wir durch Pfeilspitzen andeuten (Fig. 58).

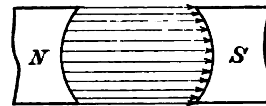


Fig. 58.

2) Soll in einem Leiter, der sich in einem magnetischen Felde bewegt oder in dessen Nähe ein solches vorübergeführt wird, **überhaupt** ein **Induktionsstrom entstehen**, so mufs bei dieser Bewegung der **Leiter die Kraftlinien schneiden** und gleichzeitig eine **Änderung** (Verminderung oder Vermehrung) **der den Leiter schneidenden Kraftlinien** eintreten.

3) **Die Stärke des Induktionsstromes hängt von der Gröfse und Geschwindigkeit der Änderung ab.**

Sinkt zum Beispiel die Zahl der den Leiter schneidenden Kraftlinien innerhalb einer oder weniger Sekunden auf 0 herab, so wird das einen kräftigen Induktionsstrom in dem Leiter zur Folge haben.

Über die **Richtung** des entstehenden Induktionsstromes giebt der folgende Satz Auskunft:

4) Stellt man sich so in das magnetische Feld, dafs man in der Richtung der positiven Richtung der Kraftlinien (also von *N* nach *S*) sieht, so entsteht:

a) ein **Zeigerstrom**, falls die Zahl der vom Leiter geschnittenen Kraftlinien sich **vermindert**,

b) ein **Gegenzeigerstrom**, wenn sich die Zahl der vom Leiter geschnittenen Kraftlinien **vermehrt.**

Um uns das Wesen dieser Sätze etwas eingehender vor Augen zu führen, verwenden wir den umstehend abgebildeten Apparat (Fig. 59). (Ferdinand Ernecke-Berlin.)

Die linke Spule („sekundäre" Spule *II*) besteht aus zahlreichen Windungen dünnen Drahtes. Wir schalten sie mit dem Galvanometer (*G*) Fig. 19 zu einem Kreise. Die rechte (primäre) Spule *I* besteht aus wenigen Win-

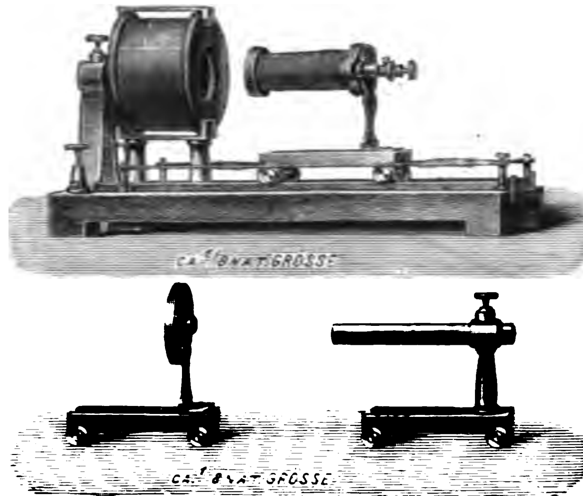


Fig. 59.

dungen dicken Drahtes. Wir schalten sie mit einer Stromquelle (*E*), einem Regulierwiderstande (*W*) und unserem Ampèremeter (*A*) Fig. 13 in Serie. Die ganze Schaltung zeigt die Fig. 60a, nur in umgekehrter Stellung.

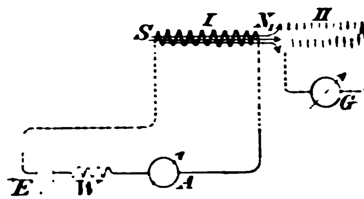


Fig. 60a.

Wir stellen nun mit dieser Anordnung folgende Versuche an:

Ia. Der Strom in *I* wird geschlossen und nun diese Spule der zweiten **genähert**, bezw. ganz in diese hineingeschoben. *G* giebt einen Ausschlag von **momentaner** Dauer. Woher kommt das? Wie aus dem Verlaufe der Kraftlinien in der Spule *I* zu ersehen ist (Fig. 60b), wird beim Annähern an *II* diese anfangs von wenigen, dann aber von immer mehr und mehr Kraftlinien geschnitten: das heifst, die Anzahl der den Leiter schneidenden Kraftlinien vermehrt sich. Man erhält also einen **Gegenzeigerstrom.** Das der Spule *I* zugewendete Ende von *II* ist demnach ein Nordpol. Diesem steht in *I* ebenfalls ein Nordpol gegenüber. Beide suchen sich abzustofsen. „**Der entstehende Induktionsstrom** (*II*) **ist so gerichtet, dafs er den mecha-**

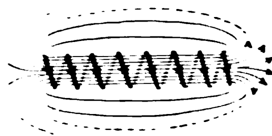


Fig. 60 b.

nisch genäherten primären Strom *I* abzustofsen sucht. (Gesetz von Lenz.) **Es mufs also, um den Induktionstrom *II* zu erzeugen, Arbeit geleistet werden!**

Ib. Nachdem das Galvanometer zur Ruhe gekommen ist, ziehen wir die Spule *I* wieder heraus. Es entsteht abermals ein Ausschlag am Galvanometer, der jedoch dem vorigen **entgegengesetzt** ist. Das ist auch ganz natürlich; denn bei diesem Vorgange hat sich die Anzahl der **den Leiter *II* schneidenden** Kraftlinien fortwährend **vermindert**; es wird ein **Zeigerstrom** hervorgerufen. Dem Nordpol der Spule *I* steht jetzt ein Südpol gegenüber. Die Spulen suchen sich anzuziehen. **Der entstehende Induktionsstrom (*II*) ist jetzt so gerichtet, dafs er den mechanisch entfernten primären Strom *I* anzuziehen sucht.**

Wir können demnach allgemein sagen:

Die entstehenden Induktionsströme sind jederzeit so gerichtet, dafs sie der Bewegung, der sie ihre Entstehung verdanken, entgegenwirken.

Dieses wichtige Gesetz ist nichts anderes als eine besondere Form des Prinzipes von der Erhaltung der Arbeit. Es mufs Arbeit geleistet werden, um den Induktionstrom zu erzeugen. Seine Stärke steht in direkter Beziehung zu der zu seiner Erzeugung aufgewendeten Arbeit. Wir hatten schon früher erwähnt, dafs durch eine Pferdekraft eine Stromenergie von 736 Watt hervorgerufen werden kann. Späterhin werden wir sehen, dafs in der Praxis diese Zahl (736) nicht ganz erreicht wird, sondern zwischen 500—680 schwankt.

Kehren wir zurück zu unserem Apparat.

IIa. Wir lassen die Spule *I* dauernd in der Spule *II*, während der Strom in *I* unterbrochen ist. Die Anzahl der den Leiter *II* schneidenden Kraftlinien ist 0; *G* zeigt keinen Ausschlag an. Jetzt wird der Primärstrom plötzlich geschlossen: der Galvanometerzeiger schlägt kräftig aus, und zwar nach derselben Richtung wie im Falle Ia. (Annähern!) Wir erhalten nämlich einen Gegenzeigerstrom, weil die Kraftlinienzahl von 0 bis zum Maximum gewachsen ist.

Wir heben jedoch auch hier wieder hervor, dafs der **Ausschlag** nur **momentan** ist.

IIb. Der Strom in *I* wird plötzlich unterbrochen. Die Galvanometernadel schlägt nach der entgegengesetzten Richtung aus. Es ist ein Zeigerstrom entstanden, da die Kraftlinienzahl vom Maximum plötzlich auf Null gesunken ist.

IIIa. Spule *I* bleibt wieder in *II*, wird aber von Strom durchflossen. Es wird schnell Widerstand (*W*) ausgeschaltet: die Stromstärke in *I* wächst und mit ihr die Zahl der (von den Ampèrewindungen abhängigen) Kraftlinien. Daher wird ein Gegenzeigerstrom induziert.

IIIb. Es wird Widerstand (*W*) eingeschaltet: die Stromstärke in *I* fällt und mit ihr die Zahl der den Leiter *II* schneidenden Kraftlinien.

Der induzierte Strom ist ein Zeigerstrom.

Man kann demnach kurz sagen:

Ein **Gegenzeigerstrom** wird erhalten: beim **Annähern, Schliefsen** und **Verstärken eines Stromes.** In allen drei Fällen wächst ja die Kraftlinienzahl.

Ein **Zeigerstrom** wird erhalten: beim **Entfernen, Öffnen** und **Schwächen** eines Stromes. In allen drei Fällen nimmt die Kraftlinienzahl ab.

Statt des primären Leiters (*I*) kann auch ein Magnetstab mit permanentem magnetischen Felde genommen werden (Fig. 59 unten rechts). Macht man dieselben Versuche wie unter Ia, b und IIIa, b, so erhält man dieselben Ströme. Das Verstärken bezw. Schwächen des Magneten führt man in der Weise aus, dafs man eine Eisenplatte (Fig. 59 unten links) dem in der Spule *II* steckenden Magneten nähert bezw. von ihm entfernt. Diese Versuchsanordnung erklärt in einfacher Weise die Wirkungsweise des Telephons.

Wie uns allen bekannt ist, hat das Telephon erst eine allgemeine Anwendung in Verbindung mit dem Mikrophon als Aufgabeapparat gefunden. Dieses Mikrophon erzeugt Induktionsströme in dem Telephon nach Art der Versuche IIIa und b. Der Strom wird hier dadurch verstärkt und geschwächt, dafs in Kohlenlagern ruhende Kohlenstifte bezw. -Platten durch die Erschütterungen, welche eine (Holz-) Membran durch das Dagegen-Sprechen erfährt, bald inniger bald loser an ihren Lagern zu liegen kommen und dadurch der Leitungswiderstand geringer oder gröfser wird, was Schwächung bezw. Stärkung eines **vorhandenen** (Lokal-)Stromes zur Folge hat. Während also bei alleiniger Anwendung von **Telephonen** keine besondere Stromquelle erforderlich sein würde, ist dies bei der Kombination mit dem Mikrophon durchaus nötig. Neuerdings ist das Mikrophon durch Verwendung von Kohlekörnern (statt der Kohlenstifte bezw. -Platten) so aufserordentlich empfindlich gemacht worden, dafs Gespräche schon in gröfserer Entfernung des Hörenden vom Apparat vernommen werden können. Diese Neuerung ist auch für den Grubenbetrieb recht nützlich, besonders wenn der Apparat auch seinem Zwecke nach entsprechend hergestellt wird, wie dies von der Firma S. u. H.-B. geschieht. Fig. 61 zeigt eine solche Telephonstation. Der „Anruf“ wird durch Drehen der rechts sichtbaren Kurbel, die zu einem Wechselstrominduktor gehört, bewirkt. Hinsichtlich der Schaltung sehe man die Figuren 42—44.

Um nun wieder auf unsere Versuche zurückzukommen, ergänzen wir unsere obigen Sätze durch die folgenden:

Ein **Gegenzeigerstrom** wird erhalten: beim **Annähern (Entstehen)** und **Verstärken** eines Magneten.

Ein **Zeigerstrom** wird erhalten: beim **Entfernen (Verschwinden)** und **Schwächen** eines Magneten.



Fig. 61.

Wir müssen noch bemerken, dafs die einzelnen Windungen der Spule I ebenfalls induzierend auf einander einwirken und einen dem primären Strom entgegengesetzten Strom (Extrastrom) erzeugen **(Selbstinduktion).**

Alle bisherigen Ergebnisse waren unter der Annahme erhalten worden, dafs das magnetische Feld sich änderte bezw. bewegte, während der Leiter feststand. Uns interessiert zunächst aber viel mehr der Fall, wo das magnetische Feld feststeht und der **Leiter** sich bewegt.

Wir erinnern uns des zu Anfang dieses Vortrages angestellten Versuches, welcher darin bestand, dafs wir eine Spule im magnetischen Felde rotieren liessen. Wir wollen die dann auftretenden Ströme an der Figur 62a etwas näher betrachten. In dem durch die Pfeile angedeuteten magnetischen Felde bewege sich der kreisförmige Leiter *L* wie der Zeiger der Uhr. Wir sehen von *N* nach *S* auf den Leiter *L*: rückt *L* bei 0° nur ganz wenig (parallel zu sich selbst) nach rechts oder links, so tritt keine Veränderung der den Leiter schneidenden Kraftlinienzahl ein: *L* ist stromlos.

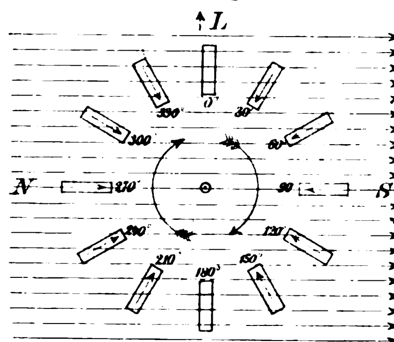




Fig. 62a.

Dreht sich jetzt *L* nach **rechts** um 30°, so ist eine Verminderung der Kraftlinienzahl eingetreten. Es entsteht in *L* ein **Zeigerstrom.** Dasselbe ist in verstärktem Mafse bei weiterer Drehung um 30° (nach 60°) der Fall. Bei 90° ist die Kraftlinienzahl sogar Null geworden. Der Strom ist hier am stärksten. Von da nimmt die Anzahl der Kraftlinien bis 180° beständig zu. Es

entsteht infolgedessen ein Gegenzeigerstrom. Man beachte jedoch, dafs man von 90° an auch den Leiter von der **entgegengesetzten** Seite sieht. Die Folge davon ist, dafs der „Gegenzeigerstrom" zwischen 90° und 180° mit dem „Zeigerstrom" zwischen 0° und 180° **gleich** gerichtet ist. In der Stellung 180° wird eine geringe Verschiebung des Leiters nach der einen oder anderen Seite genau wie bei 0° keine Änderung der Kraftlinien und mithin keinen Strom hervorrufen. Der Leiter wird dort zum zweiten Male stromlos. Die weitere Drehung hat wieder eine Kraftlinienabnahme zur Folge, ruft also einen Zeigerstrom hervor; dieser ist nun aber thatsächlich dem „Gegenzeigerstrom" zwischen 90° und 180° **entgegengesetzt,** so dafs bei 180° wirklich ein **Wechsel** der Stromrichtung eintritt. Bei 270° wird abermals infolge des rapiden Abfallens der Kraftlinienzahl auf Null ein Maximum der Stromstärke erreicht. Der zwischen 270° und 360° (0°) auftretende „Gegenzeigerstrom" ist in Wirklichkeit (aus denselben Gründen wie der zwischen 90° und 180°) dem im vorhergehenden Quadranten erzeugten „Zeigerstrom" **gleich** gerichtet. Bei 360° oder 0°, d. h. bei Beginn der zweiten Umdrehung, ist wieder wirklicher Stromwechsel zu verzeichnen.

Den ganzen Stromverlauf können wir zeichnerisch durch die nebenstehende Kurve (Fig. 62b) darstellen, indem wir auf der horizontalen Achse die Umdrehungsgrade, auf der vertikalen die Stromstärken bezw. Spannung abtragen. Es ist dies die charakteristische Form einer **Wechselstrom**-Kurve. Wir stellen fest, dafs **jede Dynamomaschine ursprünglich eine Wechselstrommaschine ist.**

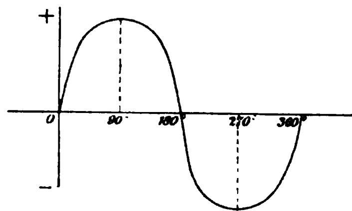


Fig. 62b.

Wie die vorstehenden Betrachtungen und die Stromkurve (Fig. 62b) lehren, findet bei jeder Umdrehung zweimal ein Stromwechsel statt.

Die Verbindungslinie bezw. -ebene der beiden Punkte, an denen dies geschieht, nennen wir **neutrale Zone.** Sie steht vorläufig — aber auch **nur vorläufig** — auf der Verbindungslinie der Pole senkrecht.

Wir wollen jetzt unseren Versuch dahin erweitern, dafs wir die Spule erst langsam, dann sehr schnell im magnetischen Felde rotieren lassen. Im ersteren Falle ist der Galvanometerausschlag sehr schwach, im zweiten sehr stark. **Der erzeugte Strom hängt also in seiner Stärke** (Spannung) **von der Geschwindigkeit ab, mit welcher der Leiter im magnetischen Felde bewegt wird.**

Sodann wollen wir das magnetische Feld stärker werden lassen, indem wir den die Elektromagnetspulen durchfliefsenden Strom von

6 auf 12 Ampères anwachsen lassen. Selbst die **langsame** Drehung der Spule giebt jetzt einen **starken** Strom, welcher bei schneller Rotation so sehr anwächst, dafs der Zeiger des Galvanometers weit über die Skala hinausgetrieben wird. **Die Spannung des induzierten Stromes steigt auch mit der Stärke des magnetischen Feldes.**

Eine weitere Steigerung würde nun noch durch Vermehrung der Wickelungen der Spule, d. h. durch Verlängerung des Leiters bewirkt werden können.

Wenn demnach

H die Stärke des magnetischen Feldes,
v die Geschwindigkeit, mit welcher der Leiter im Felde rotiert, und
l die Länge des Leiters

ist, so ist die erzeugte elektromotorische Kraft:

$$E = c \cdot H \cdot v \cdot l,$$

wo c ein konstanter Faktor ist.

Die Spannung allein ist jedoch nicht das allein Mafsgebende für die Leistung einer Maschine; diese wird durch das Produkt $E \cdot J$ (Volt-Ampère=Watt) bestimmt. Wird einer Dynamomaschine eine bestimmte mechanische Arbeit (z. B. 100 PS.) zugeführt, so kann die bei einer festgesetzten Tourenzahl erzeugte Energie (ca. 68000 Watt) immer noch in zwei Hauptformen den Klemmen entnommen werden:

1) Die Spannung ist verhältnismäfsig niedrig (z. B. 100 Volt bezw. 25 Volt), die Stromstärke dafür desto gröfser (680 bezw. 2720 Amp.); dies wird durch **wenig** Ankerwindungen **dicken** Drahtes erzielt (**Niederspannungsmaschine**).

2) Die Spannung ist sehr hoch (z. B. 3000 Volt), die Stromstärke klein (ca. 23 Amp.). Dann mufs der Anker viele Windungen **dünnen** Drahtes haben (**Hochspannungsmaschine**).

Achter Vortrag.

Die Gleichstrommaschine. Das dynamoelektrische Prinzip von Siemens. Hauptschlufs-, Nebenschlufs- und Kompoundmaschine.

Unsere letzten Erörterungen gipfelten in dem wichtigen Satze, dafs jede Dynamomaschine ursprünglich eine Wechselstrommaschine sei. Wie verwandeln wir diese in eine Gleichstrommaschine, d. h. in eine solche, welche stets Strom von **gleicher** Richtung liefert? Bisher

ist die Stromabnahme so eingerichtet gewesen, dass je ein Ende zu einem isoliert auf der Achse sitzenden Metallringe (Schleifringe) führte. Auf jedem der beiden Ringe schleift eine „Bürste“, welche den Strom abnimmt. Dies ist die charakteristische Art der Stromabnahme für Wechselstrom.

Wir nehmen nun in der Art der Stromabnahme eine ganz kleine, aber höchst wichtige Änderung vor. Es wird nur ein Ring auf die Achse gesetzt und dieser ist noch wieder in der Richtung der Umdrehungsachse in zwei gleiche, je 180° umfassende Teile geteilt, die sowohl gegen die Achse als gegen einander bestens isoliert sind (Fig. 63). Die Strombürsten schleifen (um 180° von einander entfernt) auf dieser Einrichtung, dem **„Kollektor“** oder **„Kommutator“**, so dass die „neutrale Zone“ durch ihre Verbindungslinie hindurchgeht. In der gezeichneten Stellung werde der linken Hälfte der positive Strom zugeführt, so dafs B_1 der positive Pol, B_2 der negative Pol ist. Nun wissen wir aber, dafs im nächsten Moment, falls sich die Spule in der angegebenen Pfeilrichtung dreht, Stromwechsel stattfindet. Backe I wird jetzt negativer, Backe II positiver Pol. Gleichzeitig haben aber auch die Bürsten B_1 und B_2 ihre Backen vertauscht. B_1, das vorher + war, liegt jetzt an II, **bleibt** also **positiver** Pol; ebenso ist B_2 immer noch negativer Pol, da sie jetzt an I (—) liegt. Die Bürsten empfangen also jederzeit denselben Strom: wir nehmen an ihnen **Gleichstrom** ab. Unsere Stromkurve ist dementsprechend dahin abzuändern, dafs auch der zweite Kurvenzweig (180°—360°) auf der positiven Seite liegt (Fig. 64).

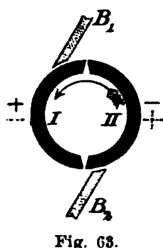


Fig. 63.

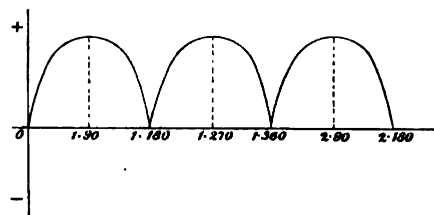


Fig. 64.

Die Kurve läfst aber immer noch einen grofsen Mangel erkennen. Der Strom ist zwar stets gleich gerichtet, schwankt aber bei jeder Umdrehung innerhalb einer bestimmten Zeit ganz gewaltig, nämlich von 0 bis zum Maximum*).

Wie ist dem abzuhelfen? Man mufs dafür sorgen, dafs wenn die eine Spule im magnetischen Felde in Nullstellung ist, bereits eine andere in Maximalstellung oder ähnlich ist. Wir vermehren also die Anzahl

*) Glühlampen würden bei diesem „pulsierenden Gleichstrome“ höchst unvollkommen brennen; sie würden flackern.

der Spulen auf 4, 8, 16, oder noch mehr. Man kann häufig Dynamomaschinen von 48 bis 72 Spulen antreffen. Durch diese Anordnung werden die Schwankungen so stark herabgedrückt, daſs die Stromkurve annähernd eine gerade Linie wird. Der vermehrten Spulenzahl entsprechend ist der Kollektor noch weiter zu teilen. Er wird jederzeit in ebenso viele, gleichmäſsig auf den ganzen Umfang von 360° verteilte Streifen zerfallen, als Spulen vorhanden sind. Diese Kollektorstreifen können als charakteristisches Merkmal einer **Gleichstrommaschine** dienen.

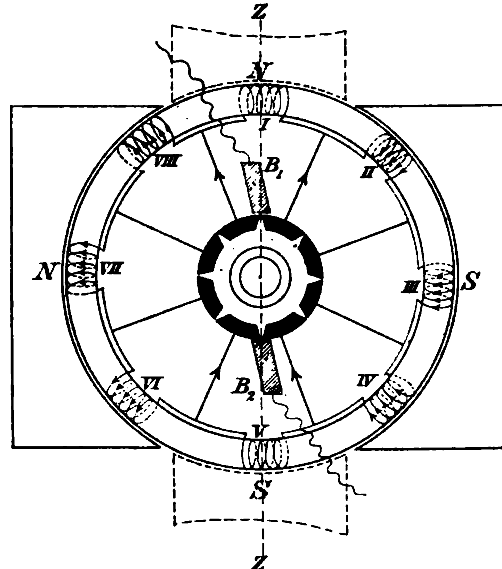


Fig. 65.

Die Anordnung und Schaltung der Spulen einer Gleichstrommaschine wird schematisch durch Fig. 65 gegeben. Die Stromabnahme erfolgt in der neutralen Zone *ZZ* durch die Bürsten $B_1 B_2$. Sowohl die Spulen der rechten als auch die der linken Hälfte des Ankers sind durch diese Anordnung jederzeit hintereinander (in Serie) geschaltet; beide Spulenreihen werden durch die Bürsten parallel geschaltet*). Der + Strom flieſst, falls, wie angedeutet, die Drehung des Spulensystems wie der Zeiger der Uhr erfolgt, überall von B_1 fort nach B_2, so daſs B_1 als negativer, B_2 als positiver Pol zu betrachten ist.

Es ist bisher immer die Rede davon gewesen, daſs die Entstehung des Stromes in unserer Maschine darauf beruht, daſs ein Spulensystem bestimmter Konstruktion in einem magnetischen Felde rotiert. Wie jedoch dieses zustande kommt war übergangen worden.

Man baute anfangs „magnetelektrische" Maschinen, bei denen das „Feld" durch „permanente" Magnete von groſsen Abmessungen erzeugt wurde. Die Stärke des Magnetfeldes und damit die des Induktionsstromes sank indessen bald infolge der mannigfachen Erschütterungen des Magnetgehäuses und anderer Störungen, die unvermeidlich waren.

*) Man sehe das Schaltungsschema Fig. 27.

Man würde daher auf **diesem** Wege in der Ausarbeitung und Vervollkommnung nicht sehr weit gekommen sein. Erst die an sich so einfache, aber grade deshalb so geniale Idee Werner von Siemens, den erzeugten Induktionsstrom gleichzeitig zur Steigerung der Feldstärke zu benutzen, hat es möglich gemacht, daſs die Elektrotechnik sich auf eine so hohe Stufe der Entwickelung emporarbeiten konnte, die sie heute thatsächlich einnimmt. Dieses **„dynamoelektrische Prinzip von Siemens“** verdankt folgendem Ideengange seine Entstehung:

„In jeder Eisenmasse ist immer (vermöge des „Magnetismus der Lage“) etwas Magnetismus vorhanden. Läſst man in dem dadurch hervorrufbaren magnetischen Felde eine Spule rotieren, so wird in dieser ein Strom erzeugt. Diesen allerdings noch ziemlich schwachen Strom leitet man auf irgend eine Weise um die Schenkel des Magneten und erhält so bei weiterer Drehung der Spule in dieser einen stärkeren Strom, der ebenfalls wieder um den Magneten flieſst, diesen verstärkend. Dieses Spiel setzt sich bis zur Sättigungsgrenze des Magneten fort. Alsdann kann ein Strom von bedeutender Stärke dem Anker entnommen werden.“ Es ist nun nur noch dafür zu sorgen, daſs das magnetische Feld stets von gleicher Stärke bleibt, was durch entsprechende Regulierungen bewirkt wird.

Damit sind wir erst bei unserer eigentlichen **dynamoelektrischen Maschine** angelangt. Die Ausführung des soeben ausgesprochenen Prinzipes ist auf drei verschiedene Weisen möglich, und man unterscheidet danach drei Haupttypen von Gleichstrommaschinen.

1. **Die Hauptstrom-, Hauptschluſs- oder Serien-Maschine.** Fig. 66.

Der **gesamte** den Klemmen bezw. Bürsten entnommene Strom umflieſst die Schenkel des Magneten, d. h. Spulensystem **(Anker)** und Magnetwickelung sind in „Serie“ geschaltet. Es bedarf keiner besonderen Begründung, daſs die Anzahl der Windungen eine nur geringe und der Draht verhältnismäſsig dick ist. Ebenso ist leicht einzusehen, daſs die geringste Änderung der Spannung im Leitungsnetz (durch Zu- oder Ausschalten von Lampen oder Motoren) sofort auf die Serienmaschine zurückwirkt. Sie ist also äuſserst empfindlich gegen irgend welche Spannungsabfälle oder -zunahmen und bedarf infolgedessen einer sorgsamen Wartung. Ihr Verwendungsbereich ist naturgemäſs ein beschränkter.

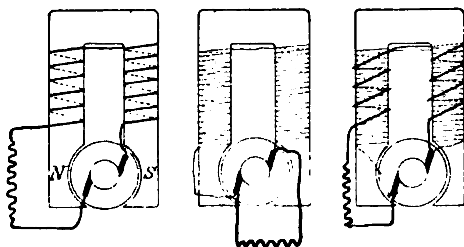


Fig. 66. Fig. 67. Fig. 68.

2. **Die Nebenschlufsmaschine.** (Fig. 67.)

Bei ihr sind Anker und Magnetwickelung „parallel" geschaltet. Es wird nur ein Teil des Maschinenstromes zur Erregung der Magnete verwendet. Um dies zu ermöglichen, mufs der Widerstand der Wickelung entsprechend grofs genommen werden. Die Maschine (z. B. viele für Beleuchtung gebaute Maschinen von S. u. H.) liefere 250 Ampères bei 110 Volts Klemmspannung, und die Magnetwickelung habe 40 Ω Widerstand. Dann ist der den Magneten umfliefsende Strom $\frac{110}{40} = 2{,}75$ Amp., d. h. ca. 1% des gesamten Stromes. Dies würde allerdings recht günstig sein; meistens sind es 2—4%. Doch bleiben wir bei unserem Beispiele. Wäre der gedachte Strom von einer Serienmaschine erzeugt worden, so würden deren Magnetwickelungen einen Strom von 250 Amp. empfangen haben und die Zahl der Ampèrewindungen wäre bei n Windungen $250 \cdot n$ gewesen. Soll **dieselbe** Ampèrewindungenzahl und damit dasselbe magnetische Feld bei unserer Nebenschlufsmaschine erzeugt werden, so mufs die Zahl der Wickelungswindungen ca. 100 mal gröfser sein. Eine Nebenschlufsmaschine ist also an der grofsen Anzahl der Windungen der Magnetwickelung erkenntlich. Die Maschine wird zwar auch auf Spannungsänderungen im Leitungsnetz reagieren, doch nicht in so hohem Mafse wie die Serienmaschine. Jedenfalls läfst sich eine Regelung leicht dadurch erzielen, dafs ein Regulierwiderstand in den Nebenschlufs eingeschaltet wird (s. 10. Vortrag).

3. **Die Kompound- oder Verbundmaschine.** (Fig. 68.)

Sie ist gewissermafsen eine Vereinigung der beiden vorigen. Der Magnet hat nämlich sowohl Hauptschlufs- als Nebenschlufswickelung. Sinkt die Stromstärke im Leitungsnetz durch Zuschalten von Widerstand (Lampen etc.), so wird auch die Hauptschlufswickelung von schwächerem Strom durchflossen; das magnetische Feld müfste also an Stärke abnehmen. Das geschieht aber innerhalb gewisser Grenzen nicht, da gleichzeitig mehr Strom als vorher in den Nebenschlufs fliefst. Die Zahlen der Windungen der Hauptschlufs- und der Nebenschlufswickelungen müssen in einem solchen Verhältnis zu einander stehen, dafs innerhalb gewisser Spannungsgrenzen (z. B. zwischen 100 und 120 Volt) die Ampèrewindungenzahl beider zusammen nahezu dieselbe bleibt. Die Verbundmaschine reguliert sich demnach für einen bestimmten Mefsbereich selbst; sie bedarf keiner Wartung. Doch arbeitet sie etwas unwirtschaftlicher als die Nebenschlufsmaschine. Sind daher die Kosten für die Lohnung des Wärters etc. im Verhältnis zu der schlechteren Wirtschaftlichkeit der Kompoundmaschine geringer, so wird man stets der Nebenschlufsmaschine den Vorzug geben. Auch

andre Gründe, die uns noch beschäftigen werden, sprechen für diese Wahl.

Alle diese Betrachtungen haben uns allmählich darauf geführt, dafs man an jeder Dynamomaschine vier Hauptteile zu betrachten hat:

1) Die **Feldmagnete**, die das magnetische Feld mit der erforderlichen Kraftlinienzahl liefern.
2) Den **Anker**, d. h. das Spulensystem, welches möglichst alle Kraftlinien in sich aufnimmt und durch Rotation den Strom erzeugt.
3) Den **Kommutator** oder **Kollektor**, der den Wechselstrom in Gleichstrom verwandelt und ihn sammelt.
4) Die **Strombürsten**, welche den Strom von den Bürsten abnehmen.

Diese wichtigen Bestandteile einer Dynamomaschine werden wir auf den folgenden Seiten in ihrer Bauart und Wirkungsweise etwas näher zu besprechen haben.

Neunter Vortrag.

Die Feldmagnete (zwei- und mehrpolige Maschinen); der Anker (Doppel-T-Anker, Gramme'scher Ring, Trommelanker); der Kollektor; die Bürsten und ihre Stellung bei in Betrieb befindlicher Dynamomaschine.

Ein äufserst wichtiger Bestandteil jeder Gleichstromdynamomaschine ist offenbar der Feldmagnet. Er ist in gewissem Sinne das, was bei der Dampfmaschine der Dampfkessel und der Schieberkasten sind. Von ihnen und den Dampf führenden Röhren wird verlangt, dafs sie möglichst dicht sind und keine Dampfverluste durch Ausströmen an unrechter Stelle etc. zulassen. Genau ebenso verlangt man von dem Feldmagneten, dafs er eine möglichst grofse Anzahl von Kraftlinien in sich aufnehme, ihnen einen möglichst leichten Durchgang gestatte und sie möglichst wenig in die Umgebung treten lasse, d. h. es soll keine „Streuung“ auftreten. Nur der Raum, in dem der Anker rotiert, soll die ganze Zahl der Kraftlinien aufnehmen, und diese sollen möglichst alle dem ersteren zugeführt werden. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen dem zu verwendenden Eisen folgende Eigenschaften in möglichst hohem Grade eigen sein:

1) **Das Eisen mufs die magnetischen Kraftlinien möglichst leicht und schnell hindurchlassen.**

Daher nimmt man:

a) weiches Eisen, b) Eisen von grofsem Querschnitte, c) von solcher Gestalt, dafs der Weg der Kraftlinien möglichst kurz ist, d) die einzelnen Teile (Joch, Schenkel resp. Kern und Polstücke oder Polschuhe) so, dafs sie ein Ganzes bilden.

2) **Der Abstand zwischen den Polschuhen und dem Anker mufs möglichst klein sein, damit die Streuung der Kraftlinien vermieden wird.**

3) **Das ganze Magnetgestell mufs äufserst fest und stabil aufgebaut sein; denn es hat auch noch die Ankerachse zu tragen.**

Die Konstrukteure sind eifrig bestrebt gewesen, diesen Anforderungen nach Möglichkeit Genüge zu leisten. Man kann das durch verschiedene Gestaltung des Gehäuses erreichen. Es bildeten sich auf diese Weise gewisse Typen heraus, die, anfangs nur von einer Firma in den Handel gebracht, doch bald Gemeingut aller wurden. Wenn wir daher hier von „Typen“ sprechen und diese mit dem Namen der Firma belegen, welche sie zuerst baute, so hat das lediglich nur historische Berechtigung. In den Fig. 69a—d sind die häufigsten der Arten von Feldmagneten dargestellt. Der Edison- und der Siemensbezw. Kapp-Typus unterscheiden sich äufserlich nur durch ihre verschiedene Stellung. Die Fig. 69c zeigt einen zweiten Typus von S. u. H.

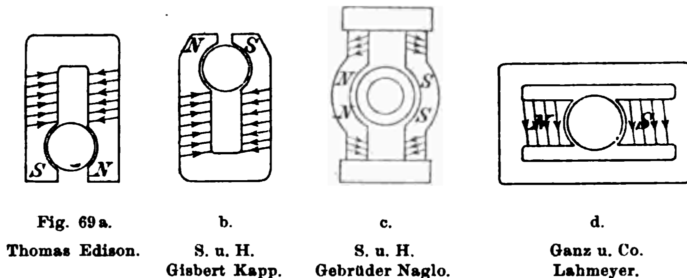


Fig. 69a. Thomas Edison. — b. S. u. H. Gisbert Kapp. — c. S. u. H. Gebrüder Naglo. — d. Ganz u. Co. Lahmeyer.

Dieser gewinnt insofern mehr Interesse, als bei ihm infolge der eigentümlichen Wickelung immer je zwei gleichnamige Pole zusammenstossen, so dafs „Folgepole“ erzeugt werden. Recht häufig ist auch die Bauart der Fig. 69d von Ganz u. Co. bezw. Lahmeyer.

Alle bisher aufgeführten Feldmagnete waren zweipolig. Soll die Maschine jedoch für eine gröfsere Leistung gebaut werden, so kann das nicht nur durch erhöhte Tourenzahl und ebenso gröfsere Anzahl der Ankerspulen erreicht werden. Es ist vielmehr erwünscht, die Maschine nicht zu schnell laufen zu lassen. Daher bleibt nur noch der Ausweg, das magnetische Feld zu verstärken. Dieses wird in

ausgiebiger Weise durch Vermehrung der Pole erreicht; wir gelangen so zu einer zweiten Gruppe, den vielpoligen Maschinen. Fig. 70 zeigt die Form von Gramme; um 90^0 gedreht erhält man diejenige von Schu.-N. Die Firmen pflegen ihre Maschinen bis zu einer beliebigen Wattzahl zweipolig, für gröfsere Leistungen 4-, 6-, 8- und mehrpolig zu bauen. So sind beispielsweise die Schuckert'schen Maschinen: bis 10000 Watt 2polig, bis 20000 Watt 4polig etc.

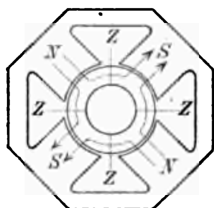


Fig. 70.

Der Verlauf der Kraftlinien bei den betreffenden Feldmagneten ist durch einzelne Linien angedeutet. Die Fig. 70 zeigt, dass eine vierpolige Maschine **zwei** neutrale Zonen besitzt, d. h. es findet bei jeder Umdrehung des Ankers viermal ein Wechsel statt. Bei einer 6poligen Maschine würde das 6 mal und allgemein bei einer n-poligen n mal geschehen. Von dieser Thatsache werden wir später beim Aufbau der Wechselstrommaschine (s. 14. Vortrag) noch viel vorteilhafter Gebrauch machen. Bei der Gleichstrommaschine hat die Erscheinung dagegen zur Folge, dafs auf dem Kollektor so viel Bürsten schleifen müssen, als die Maschine Pole hat. Doch läfst sich, wie weiter unten gezeigt werden soll, die Zahl auch durch besondere Schaltungsweisen der Spulen wieder auf zwei herabsetzen.

Die in dem Magnetgestell „fliessenden" Kraftlinien werden nun durch das zwischen den Polen sich drehende Spulensystem geschlossen, daher der Name „Anker". Doch kann auch umgekehrt das Magnetfeld sich im **Innern** befinden und dann der Anker **aufsen** um die feststehenden Pole rotieren. Diese Anordnung macht bei direkter Kuppelung der Dynamo- mit der Antriebsmaschine ein Schwungrad überflüssig, da der Anker als solches dienen kann, und bietet noch den weiteren Vorteil, dafs eventuell auch die dicken Drähte oder vielmehr Schienen der Spulen selbst zum Kollektor ausgebildet werden können. Fig. 71 (S. 59) zeigt eine solche von S. u. H. vielfach gebaute „Innenpolmaschine". Die vorher besprochenen Maschinen würden demgemäfs als „Aufsenpolmaschinen" zu bezeichnen sein.


Fig. 72 a.
Doppel-T-Anker.

Der **Anker** ist auch nicht immer von gleicher Gestalt. Bei kleineren Maschinen, wie magnetelektrischen Zündmaschinen (s. 17. Vortrag), giebt man ihm die Form des Siemens'schen Doppel-T-Ankers (Fig. 72 a). Es können dann nur zwei Spulen aufgebracht werden. Nimmt man statt der ein-

fachen Doppel-T-Anker zwei solche in Kreuzform kombiniert, so ist schon die Anbringung von vier Spulen möglich (Fig. 72b, S. 60).

Für gröfsere Maschinen sind jedoch diese Anker nicht brauchbar. Bei ihnen kommt entweder der Gramme-Pacinotti'sche Ring (Fig. 65, S. 53



Fig. 71. Innenpolmaschine.

und Fig. 73, S. 60) oder der Trommelanker von Hefner-Alteneck (Fig. 74, S. 60) zur Anwendung. Der erstere besteht aus einem Ringe, auf den die Spulen neben einander gewickelt sind. Ende und Anfang je zweier benachbarter Spulen sind immer zu einem gemeinsamen Draht verbunden, der auf einem Kollektorstreifen endigt. Die Spulen sind dem-

nach in Serie geschaltet, wodurch bekanntlich erhöhte Spannung erzielt wird. Der Trommelanker unterscheidet sich von dem Ringanker dadurch, dafs die Spulen nicht auf einen Ring, sondern auf einen cylindrischen Körper aus Eisen gewickelt sind*). Die Trommel ist nämlich mit zahlreichen Längsnuten versehen, in welche die Drähte nach bestimmten Regeln gelegt werden. Der Vorteil gegenüber dem Ringanker besteht darin, dafs alle Drähte ihrer ganzen Länge nach sich in gröfster Nähe der Pole, also in dem Gebiete der gröfsten Dichte der magnetischen Kraftlinien befinden. Beim Ringanker befinden sich die nach innen gelegenen Drahtenden gegen die äufseren insofern im Nachteil, als das magnetische Feld auf sie nicht so stark einwirkt wie auf die letzteren.



Fig. 72 b.



Fig. 73.



Fig. 74.

Der Trommelanker hat wieder den Nachteil, dafs an ihm besondere Vorrichtungen zwecks Kühlung angebracht werden müssen, was beim Gramme-Ring nicht erforderlich ist. Aufserdem läfst sich an diesem ein Isolationsfehler viel leichter finden und beseitigen, da ja die Drähte alle (auch an der Stirnfläche) nebeneinander angeordnet sind. Anders ist das beim Trommelanker. Bei ihm liegen die Wickelungen vorne und hinten übereinander, und es ist daher bei Reparaturen fast immer erforderlich, den ganzen Anker abzuwickeln und eine vollständig neue Wickelung vorzunehmen.

Beide Anker dürfen nicht massiv hergestellt werden. Es entstehen nämlich sonst in den Ankern sogenannte **Foucault- oder Wirbelströme.** Das Wesen dieser Ströme lernen wir aus folgendem Versuche kennen (Fig. 75). Zwischen den Polen eines Elektromagneten ist eine

*) Das Wickelungsverfahren ist hier nicht näher beschrieben worden, da dazu ein gutes Modell unerläfslich erscheint.

Kupferscheibe pendelartig aufgehängt. Setzt man das Pendel durch einen Stofs in Bewegung, während die Spulen des Magneten stromlos sind, so erfolgen die Schwingungen längere Zeit ganz gleichmäfsig. Sobald man aber den Elektromagneten erregt, so dafs Kraftlinien durch die Kupferscheibe hindurchgehen, bleibt das Pendel sofort stehen. Es sind in der Kupfermasse Induktionsströme entstanden, welche nach dem Lenz'schen Gesetze der Bewegung entgegenwirken. Läfst man ferner unter einer um eine vertikale Achse beweglichen Kupferscheibe die Pole eines Hufeisenmagneten rotieren, so dreht sich die Scheibe in demselben Sinne wie der Magnet. Über den Verlauf der Stromkurven in der Scheibe giebt Fig. 76 Aufschlufs. Man macht bei feineren Apparaten, wo es darauf ankommt, dafs eine Nadel oder dergl. ohne weitere Schwingungen sofort in die Ruhelage kommen soll, von der Wirkung dieser Ströme Gebrauch, indem man die betreffende Nadel innerhalb einer gröfseren Kupfermasse schwingen läfst. **Bei dem Anker mufs das Auftreten der Foucaultströme jedoch nach Möglichkeit vermieden werden.** Daher wird der Ringanker aus einer gröfseren Anzahl von Drähten (die ringförmig gebogen sind) oder auch wohl aus zahlreichen Ringen zusammengesetzt, die durch Papierschichten oder ähnliches, isolierendes Material von einander getrennt sind. Ebenso setzt man den Anker von Hefner-Alteneck aus zahlreichen isolierten Eisenblechscheiben zusammen, schiebt sie senkrecht stehend auf die Achse und verbindet sie durch Schrauben etc. Durch diese Einrichtung ist ein regelrechtes Fliefsen der Wirbelströme und damit auftretende Erwärmung bezw. Stromverlust in der Hauptsache

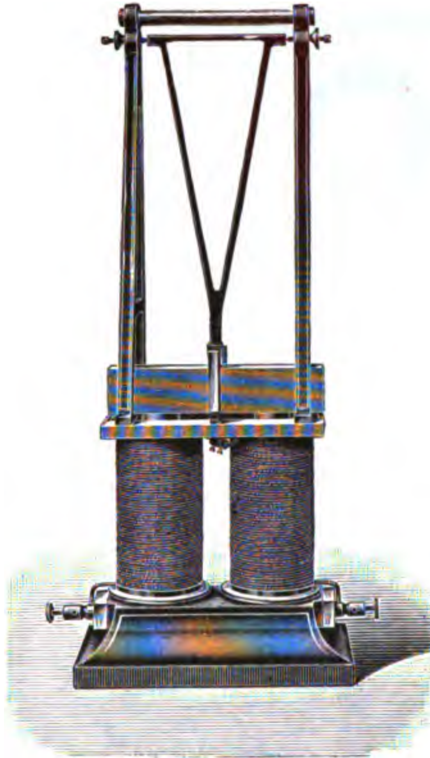


Fig. 75.

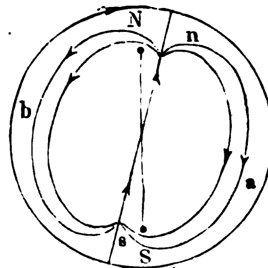


Fig. 76.

vermieden, während den magnetischen Kraftlinien völlig freie Bahn gelassen ist.

Der **Kollektor** besteht aus zahlreichen Kupferschienen und zwar meistens aus ebenso vielen Streifen, als Spulen auf dem Anker vorhanden sind. Doch giebt es auch eine eigentümliche Schaltung der Spulen, bei der diesen die doppelte Anzahl von Kollektorstreifen entspricht. Die einzelnen Segmente müssen durch Glimmer, Micanit oder dergl. auf das sorgfältigste sowohl gegen einander als auch gegen die Achse des Ankers isoliert sein. Ein stets glatter, polierter Kollektor ist für den ruhigen, funkenfreien Gang der Maschine durchaus erforderlich.

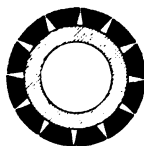


Fig. 77.

Die **Bürsten** werden aus sehr verschiedenem Material hergestellt:

1) Aus einzelnen Drähten; diese erfordern eine äufserst sorgfältige Behandlung; beim Umkehren des Drehsinnes des Ankers können sie sich ebenso leicht verbiegen, wie bei einem auch nur etwas unebenen Kollektor. Dazu kommt noch, dafs dieser leicht durch diese Drahtbürsten dem Verschleifse unterworfen sein kann.

2) Aus einzelnen über einander gelegten Messingblechen. Sie sind auch nicht gerade sehr empfehlenswert, wurden aber bisher sehr viel verwendet.

3) Aus sehr dünn ausgewalzten Metallblättchen von 2—3 hunderstel mm Dicke, „die gefaltet und unter hohem Drucke zusammengeprefst werden“ (Patent Boudreaux, Verfertiger Louis Patz-Dresden). Diese Dynamo-Blätter-Bürsten aus „Antifriktionsmetall“ sollen sich an manchen Stellen gut bewährt haben.

4) Ebenfalls aus fein ausgewalzten Metallblättchen (sogenanntem galvanischen Metallpapier), zwischen denen sich noch feine Kohle (oder CuO?) befindet. Diese Bürsten („System Endruweit“ der galvanischen Metall-Papier-Fabrik, Aktiengesellschaft-Berlin) werden von der eineu Seite gelobt, von anderen wieder bemängelt; sie sollen oft recht stark feuern.

5) Dagegen erfreuen sich die aus Kupferdrahtgewebe hergestellten Bürsten wohl durchweg allgemeiner Beliebtheit; sie werden von mehreren Firmen fabriziert. Um ihre Erwärmung möglichst auf ein Mindestmafs zu beschränken, versieht sie die Fabrik „J. C. Koch-Hohenlimburg-Westfalen“ mit Ventilationsröhren.

6) In neuerer Zeit sind noch Bürsten aus Kohle hinzugekommen, die besonders gern für Motoren verwendet werden, die häufig ihren Drehungssinn ändern.

Die Auflage der Bürsten auf dem Kollektor kann sehr verschiedenartig sein. Man kann die Bürsten den Kollektor tangieren, unter einem bestimmten Auflagewinkel und auch senkrecht dazu stehen lassen. Letztere Stellung ist natürlich für Motoren mit Umkehrvorrichtung und Kohlenbürsten besonders geeignet. (Fig. 78, 78a, 78b.)



Fig. 78.

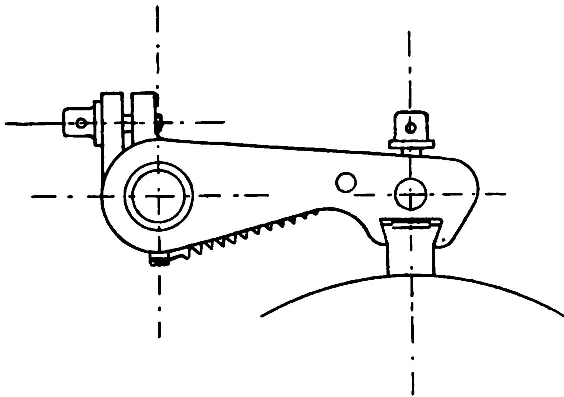


Fig. 78a.



Fig. 78b.

Was nun die Stromabnahme durch die Bürsten betrifft, so mufs sie in der neutralen Zone, d. h. an den Stellen erfolgen, wo Stromwechsel bei einer Wechselstrommaschine stattfinden würde. Betrachten wir die Fig. 65, so sind bei stillstehender Maschine die Bürsten B_1 und B_2 richtig gestellt. Sie schliefsen die jedesmal durch die Zone *ZZ* hindurchgehenden Spulen, in diesem Falle I und V, für einen Augenblick kurz. Das hat keine nachteilige Wirkung, da ja die Spulen I und V stromlos sind. Würden dagegen die Bürsten etwas vorwärts oder rückwärts verstellt werden, so würden sie immer Spulen kurz schliefsen, die Strom führen. Da der Widerstand der Spulen nicht sehr grofs ist, so können Stromstärken von vielen hundert Ampères auftreten, wodurch nicht nur die Bürsten, sondern auch die betreffenden Kollektorstreifen zum Schmelzen gebracht werden könnten. Nun kann man aber alle Tage die Beobachtung machen, dafs, sobald die Dynamomaschine angeht, die Bürsten in der angegebenen Stellung *Z—Z* **nicht funkenfrei** sind; im Gegenteil, sie feuern ganz kräftig. Man mufs die Bürsten **vorwärts** (in der Drehungsrichtung des Ankers) um einen bestimmten Winkel verschieben, ehe Funkenlosigkeit auf-

tritt. Dies rührt daher, dafs durch den in dem Anker fliefsenden Strom gewissermafsen ein zweites (H_1) allerdings schwächeres magnetisches Feld erzeugt wird, das zu dem ersteren (H) senkrecht steht (Fig. 65, punktiert angedeutet). Nach dem Kräfteparallelogramm erhält man dann ein magnetisches Feld, dessen Stellen der gröfsten Kraftlinienzahl im Anker in der Umdrehungsrichtung verschoben erscheinen. Wird H_1 gröfser, was ja bei schnellerem Gange der Fall sein wird, so wird der Winkel α noch gröfser. Daraus erklärt sich die vorstehende Thatsache der Bürstenverschiebung. Im übrigen erfolgt ja die Stromabnahme durch die zwei Bürsten (Fig. 65 auf S. 53) so, dafs alle Spulen links von ZZ und ebenso alle rechts von ZZ hintereinander geschaltet sind, genau so wie die entsprechende Anzahl von Elementen. Durch die Bürsten sind beide Reihen dann parallel geschaltet. Der +Strom fliefst bei der angenommenen Drehungsrichtung in den beiden Hälften von B_1 fort nach B_2, sodafs B_2 positiver und B_1 negativer Pol ist (s. S. 53).

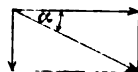


Fig. 79.

Es war schon vorhin erwähnt worden, dafs bei vielpoligen Maschinen auch mehr Bürsten vorhanden sein müssen. Wie die Figur 80a zeigt, sind die einander gegenüberstehenden Bürsten immer in dem-

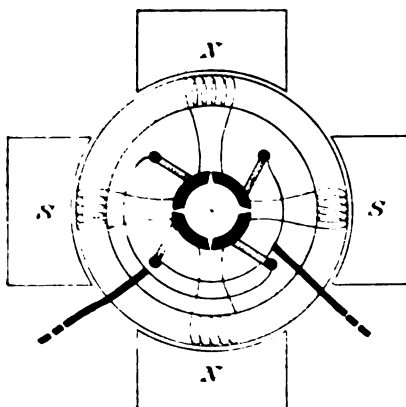


Fig. 80a.


Fig. 80b.

selben Zustande der Kraftlinienänderung: sie werden daher Strom derselben Richtung empfangen. Wir verbinden sie durch eine „Bürstenbrücke", an die wir den Leitungsdraht legen. Auf diese Weise erhält man bei einer vierpoligen Maschine durch Vereinigung je zweier Bürsten

und bei einer sechspoligen Maschine durch entsprechende Verbindung je **dreier** Bürsten die beiden Pole + und — der Maschine. Allgemein

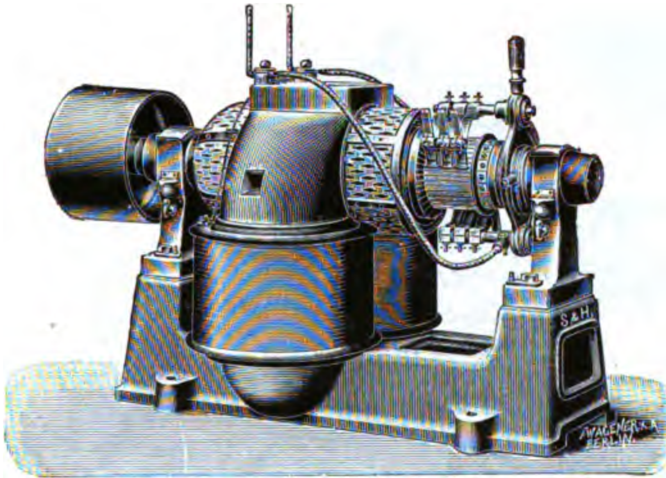


Fig. 81.

kann man sagen: Wenn die Maschine $2p$ Pole hat, so werden stets p nicht auf einander folgende Pole durch je eine Bürstenbrücke (Fig. 80b) zu einem Pol verbunden.

Doch kann man auch durch geeignete Schaltung der Spulen untereinander erreichen, dafs die Zahl der Bürsten wieder nur zwei zu sein braucht. Diese müssen dann unter einem Winkel von $\frac{360^0}{2p}$ gegeneinander geneigt sein. Bei einer vierpoligen Maschine würden die Bürsten demnach einen Winkel von 90⁰ miteinander einschliefsen. Maschinen dieser Art werden von S. u. H. und der D. E. G.-A. gebaut.



Fig. 82.

Sollen bei der Stromabnahme am Kollektor keine zu grofsen Verluste auftreten, so müssen Bürsten von hinreichendem Querschnitte angebracht werden. Da die Bürste nur eine Lamelle zur Zeit berühren darf, so ist sie in ihrer Dicke beschränkt; sie müfste sehr breit gemacht werden. Das hat aber wieder den Nachteil, dafs sie leicht einmal nicht überall gleich gut am Kollektor anliegen kann. Aus diesem Grunde werden mehrere Bürsten auf dem Halter nebeneinander angeordnet.

Die Bürstenhalter selbst werden ebenfalls recht verschiedenartig ausgeführt. Meistens sind sie so eingerichtet, dafs die Bürsten durch Federkraft an den Kollektor geprefst werden. Ein oder mehrere

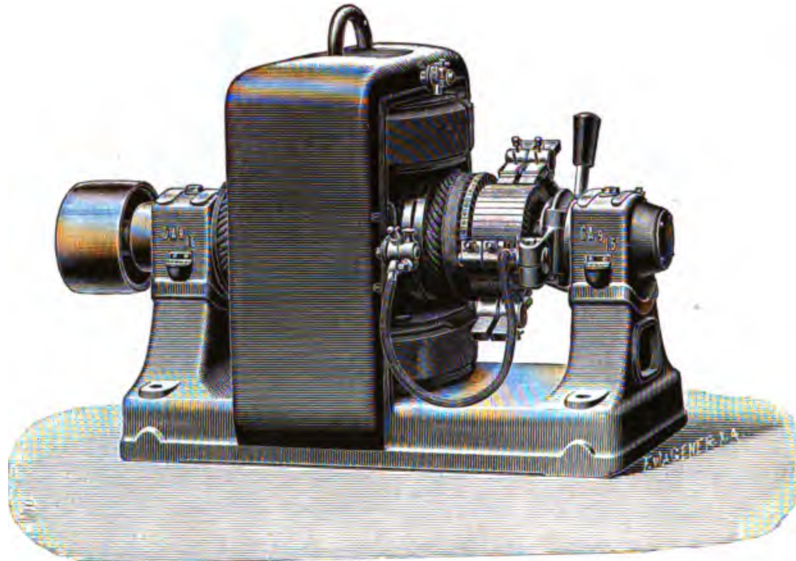


Fig. 83.

Handgriffe, bei gröfseren Maschinen auch kompliziertere Vorrichtungen (Wellräder mit Schrauben ohne Ende), gestatten die genaue Einstellung auf Funkenlosigkeit. Diese wird freilich **niemals** erreicht, falls

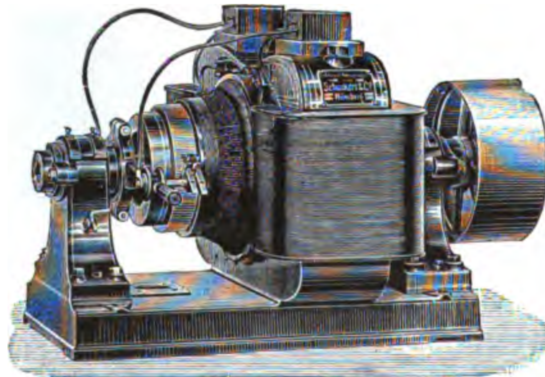


Fig. 84.

die Spulen auch noch so wenig unsymmetrisch auf dem Anker angeordnet sind.

Um uns nun eine Vorstellung davon zu machen, wie die einzelnen Firmen die genannten Teile (Feldmagnet, Anker, Kollektor, Bürsten) zu der vollständigen Dynamomaschine zusammenbauen, wollen wir uns

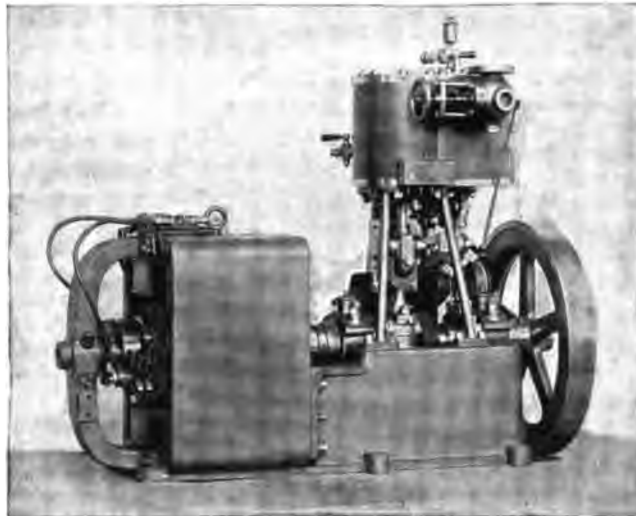


Fig. 85.

einige der häufigeren Konstruktionen im Bilde vorführen. Diese kleine Generalbetrachtung überzeugt uns gleichzeitig von der Richtigkeit der

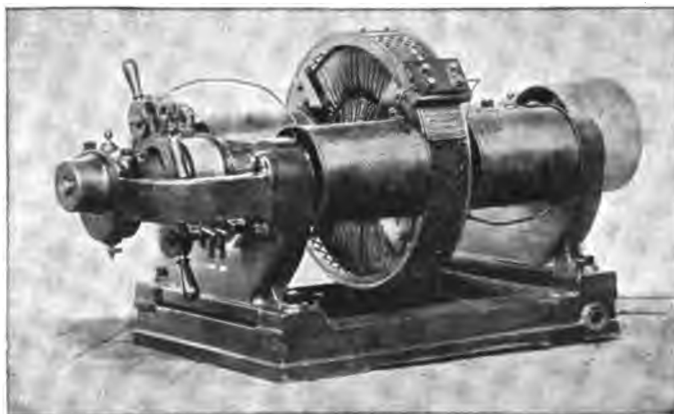


Fig. 86

früheren Behauptung, dafs es bestimmte, von einer einzigen Firma gebaute Typen im allgemeinen nicht mehr giebt.

Fig. 81 zeigt eine von der Firma S. u. H. gebaute und für kleinere Beleuchtungsanlagen sehr viel verwendete zweipolige Maschine (Modell LH). Magnetgestell und Fundamentplatte sind aus einem Stück

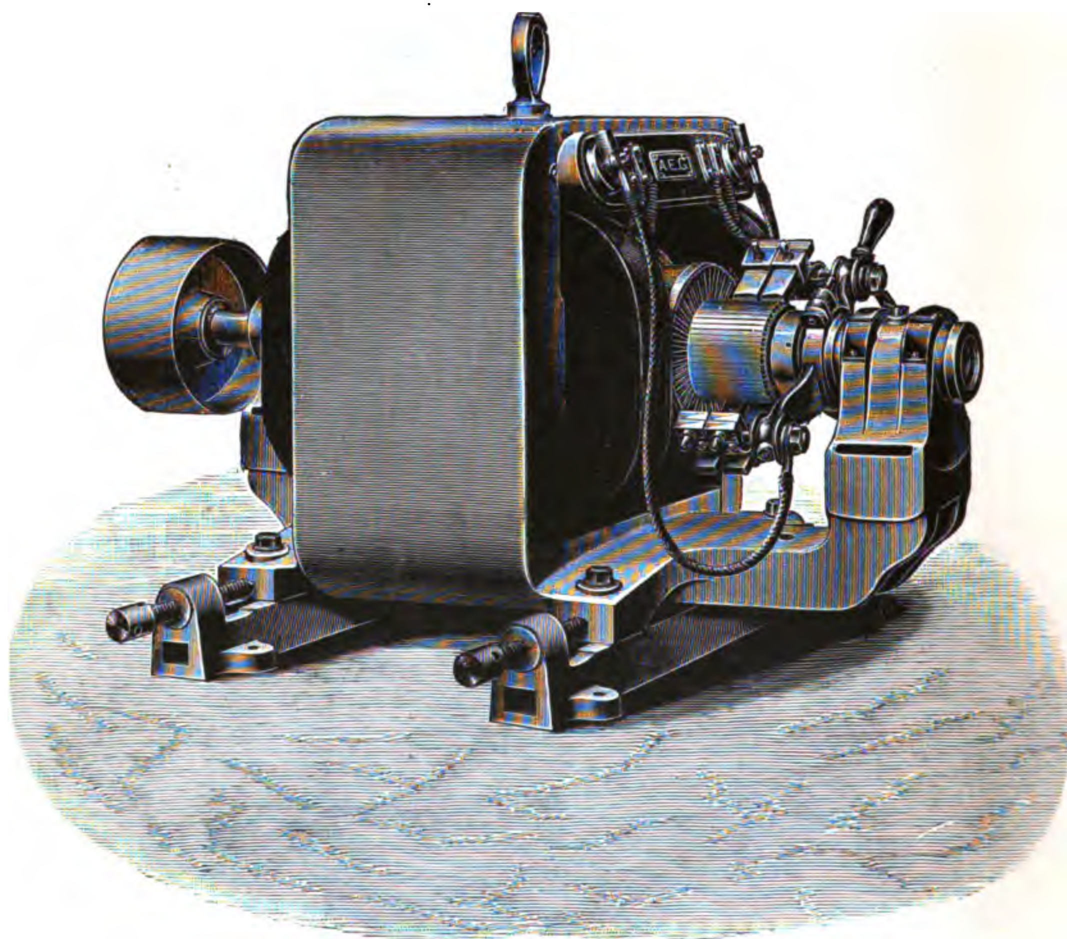


Fig. 87.

gegossen, wodurch ein möglichst ruhiger Gang der Maschine selbst bei hoher Tourenzahl erreicht wird. Die Lager für die Ankerachse sind auf die Fundamentplatte aufgeschraubt. Der Anker selbst ist aus zahlreichen

kreisförmigen Eisenblechscheiben zusammengesetzt, die an ihrem Umfange rechteckige Einschnitte tragen. Die einzelnen Scheiben sind durch Papier voneinander isoliert (Wirbelströme!); sie sind auf die

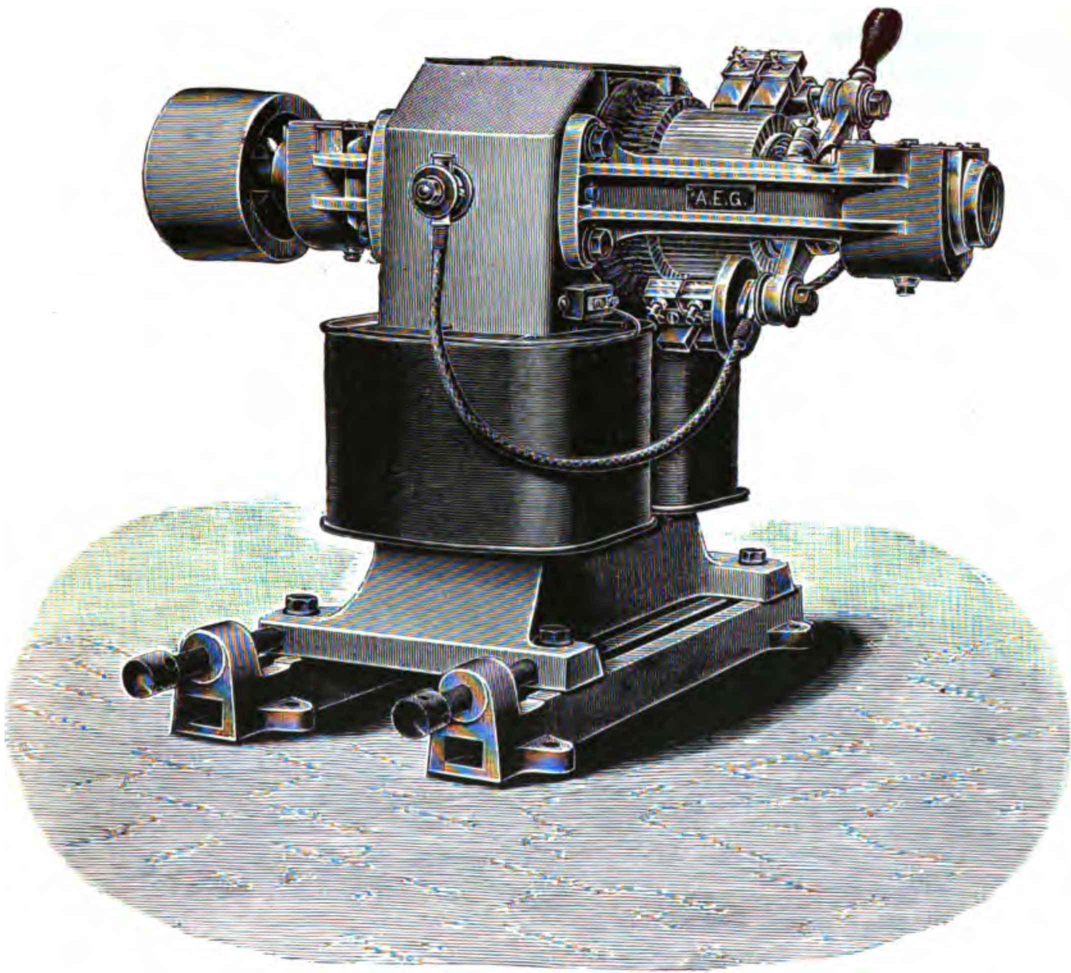


Fig. 88.

Ankerachse aufgeschoben und werden durch zwei Schrauben fest zusammengehalten. Auf solche Weise entstehen auf dem Umfange des Ankers Nuten, in welche die Kupferdrahtwickelung eingebettet wird;

ein Gleiten der Ankerwickelung und Durchreiben der Isolation ist mithin unmöglich. Die einzelnen Segmente des Kollektors (rechts) sind natürlich gut gegeneinander isoliert. Die Bürsten — der Polzahl entsprechend zwei — sind zu je dreien angeordnet und können mit Hilfe des an der Bürstenbrücke befindlichen Griffes (in der Figur rechts oben) so (in der Drehrichtung) verschoben werden, dafs Funkenlosigkeit erzielt wird. Von den Bürstenhaltern geht der Strom durch kabelartige dicke Leitungen zu zwei auf dem Magnetgestell angebrachten Klemmen. An diese ist einerseits die (in **Nebenschlufs** befindliche) Magnet-



Fig. 89.

wickelung, andererseits die zum Schaltbrett führende Hauptleitung gelegt.

Mehr dem Lahmeyer-Typus ähnelnd sind die Maschinen Modell FA (Fig. 82) und GA (Fig. 83) von derselben Fabrik gebaut; sonst dienen sie denselben Zwecken wie Modell LH.

Nur in einigen Konstruktionsäufserlichkeiten weicht das Modell ZH (Fig. 84) von Schu.-N. von Fig. 81 ab; sehr ähnlich der Fig. 83 ist auch die AS-Dynamo derselben Firma, die hier direkt mit der Dampfmaschine gekuppelt ist (Fig. 85). In der Type TL (Fig. 86, Flachringmaschine) sucht Schu. den schon angeführten Nachteil des Gramme-Ringes, dafs nicht alle Teile der Wickelung gleich günstig im

Magnetfelde gelegen sind, dadurch zu beseitigen, dafs er dem Ringe die typische Form des „**Flachringes**“ giebt. Dieser rotiert dann zwischen zwei Polpaaren, von denen die einander gegenüberstehenden immer gleichnamig polarisiert sind. (Wird nicht mehr gebaut?)

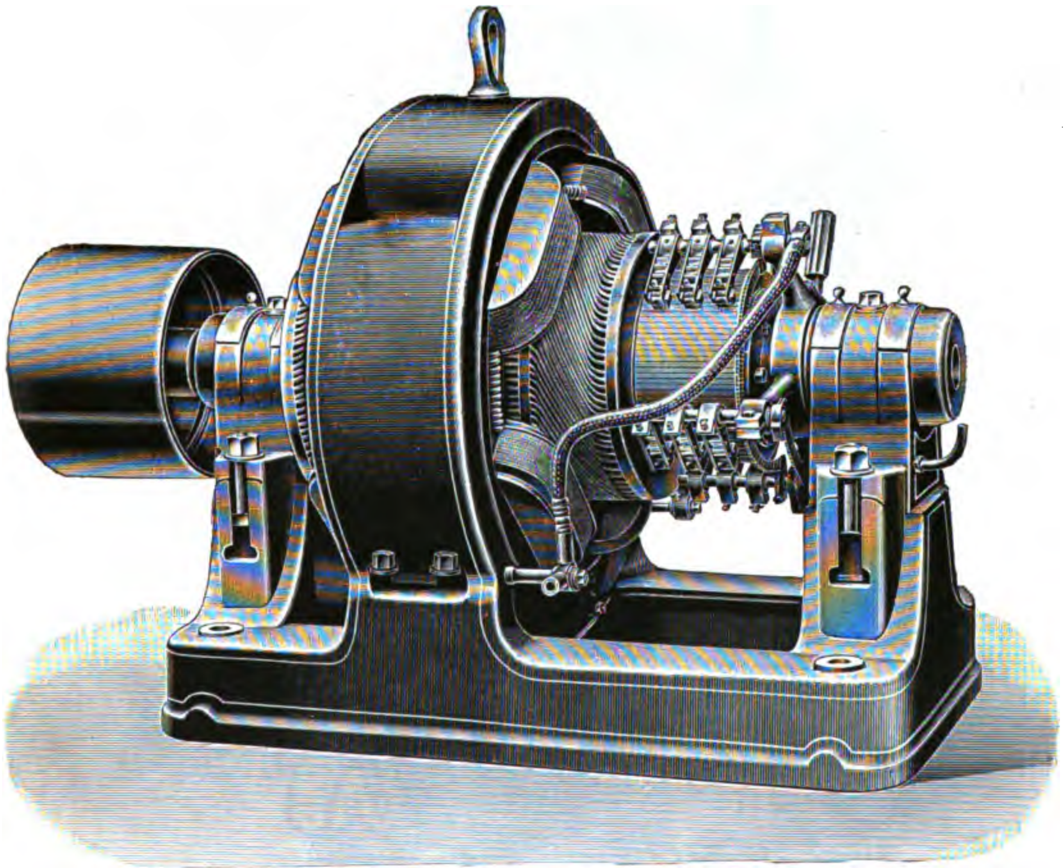


Fig. 90.

Auch die A. E. G.-B., wie überhaupt **alle** Elektrizitätsgesellschaften, baut die angeführten, in der Form nahezu gleichgestalteten Maschinen, Fig. 87 (Lahmeyer-Typus) und Fig. 88 (Siemens-Typus bezw. Kapp).

Sollen die Maschinen eine gröfsere Wattzahl liefern, so geht man, wie gesagt, zu vierpoligen Maschinen über, die bei den einzelnen Firmen

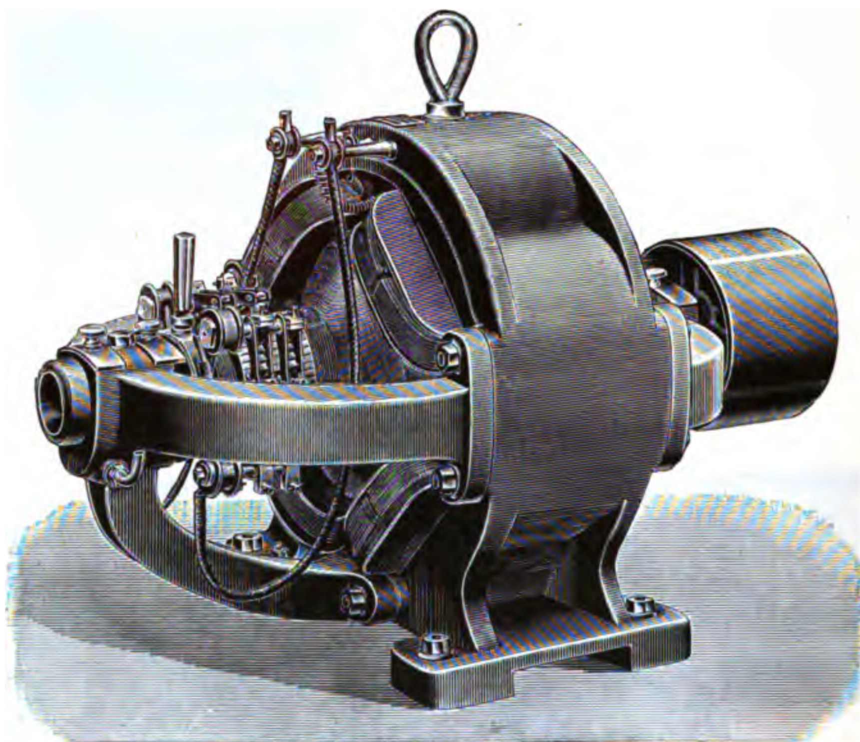


Fig. 91.



Fig. 92.

gleichfalls nur im äufseren Aussehen von einander abweichen. Von der Richtigkeit des Gesagten überzeugt man sich am besten durch Be-

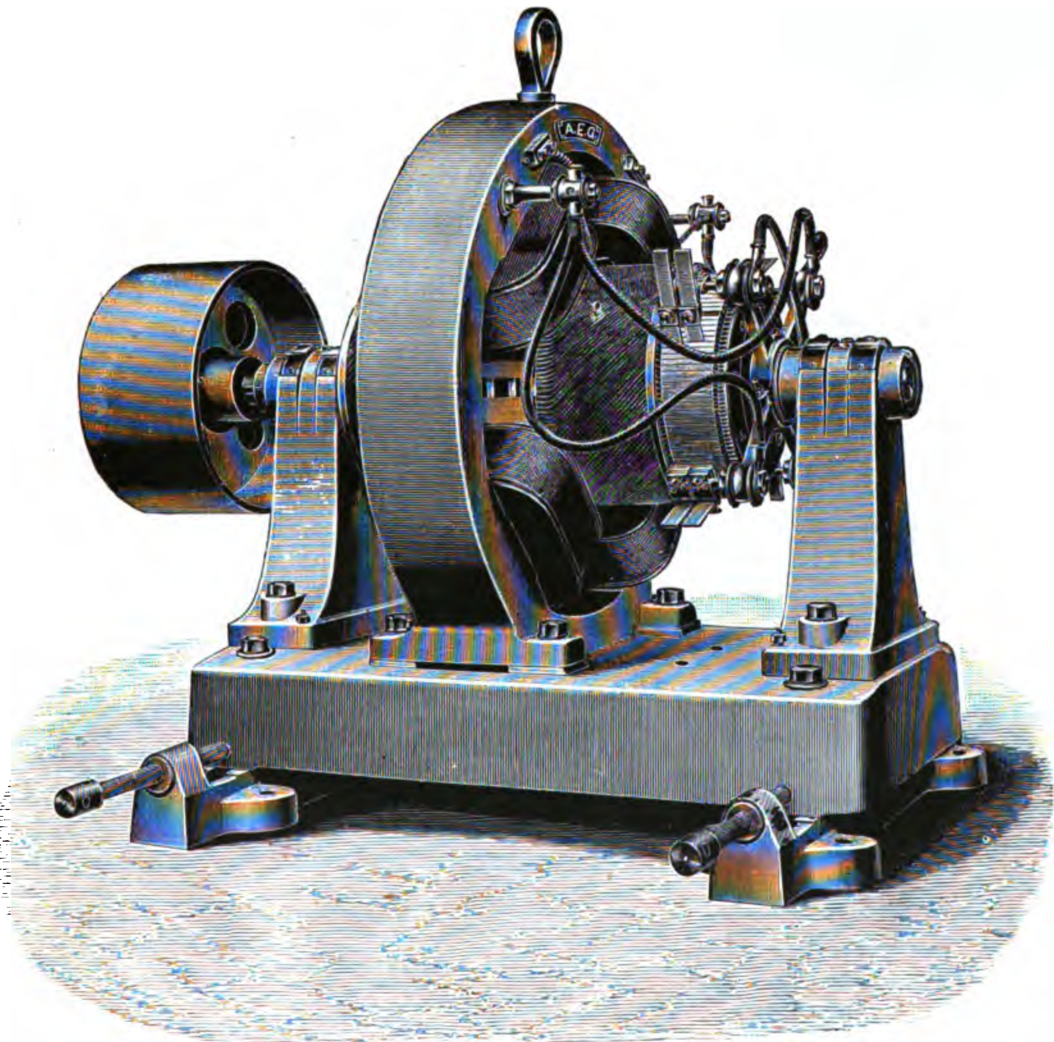


Fig. 93.

trachtung der Fig. 89—93, welche Maschinen der nachstehenden Firmen darstellen:

Fig. 89. Modell AF von Schu.-N.; Nebenschlufsmaschine. Man beachte die durch „Brücken“ bewirkte Vereinigung der gegenüberstehenden Bürsten zu **einem** Pol.

Fig. 90 und 91. Vierpolige Maschinen von Schumann-Leipzig.

Fig. 92. Vierpolige Maschine der Un.-B.

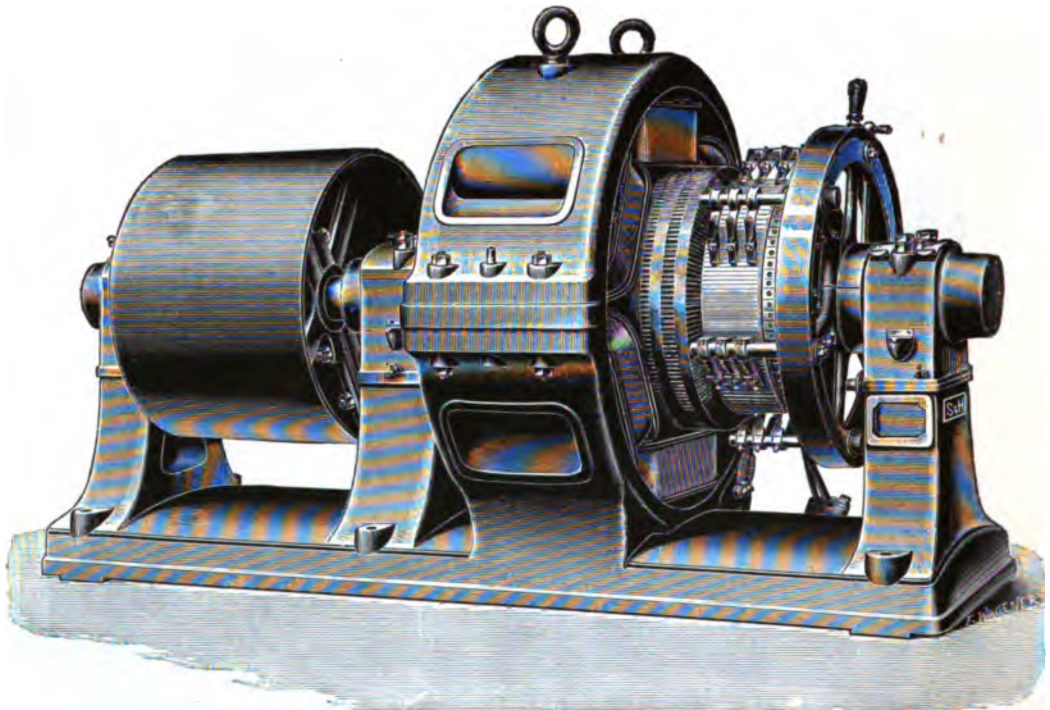


Fig. 91.

Fig. 93. Vierpolige Maschine der A. E. G.-B.

Für noch gröfsere Leistungen wird die Polzahl weiter gesteigert, wie dies die Fig. 94—96 zeigen:

Fig. 94. Sechspolige Maschine von S. u. H.

Fig. 95. Sechspolige Maschine der Un.-B.

Fig. 96. **Zehnpolige Maschine von Schu.-N.**
Fig. 97. **Zwölfpolige Maschine der A. E. G.-B.**
Mit den Polen wächst naturgemäfs die Zahl der Bürsten. Infolgedessen mufs auch die Vorrichtung, welche alle + Bürsten und ebenso

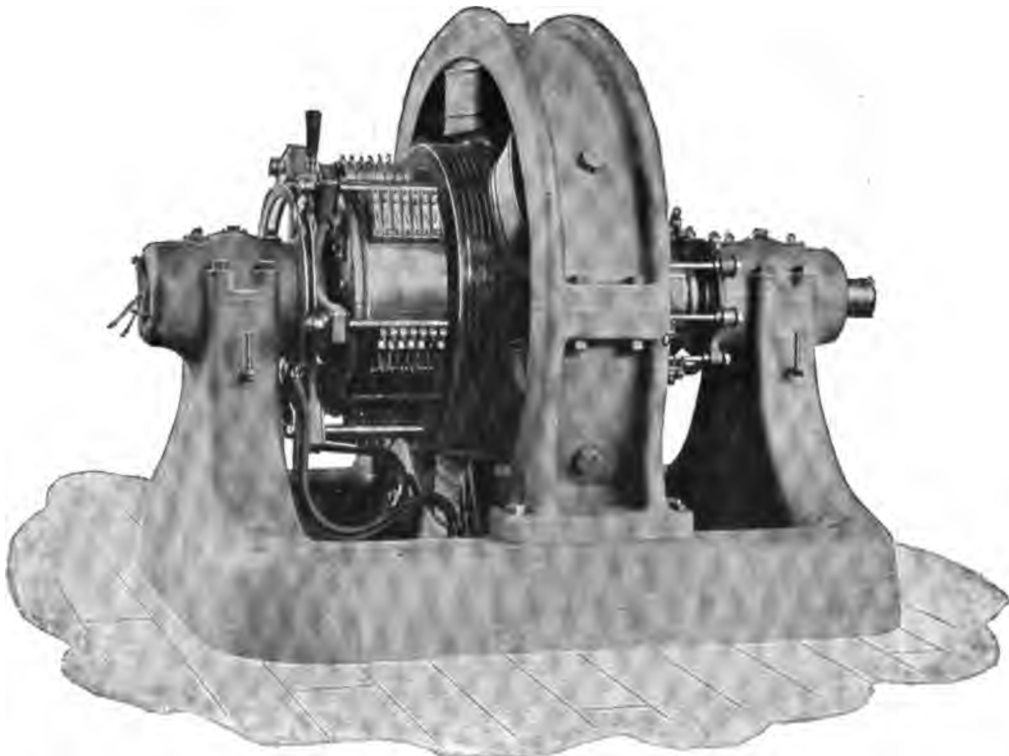


Fig. 95.

alle — Bürsten zu je einem einzigen Pole vereinigt, um so umfangreicher werden. Dies sieht man am besten an der Schuckert-Maschine Fig. 96. Alle zehn Bürstensysteme sind zunächst an den zehn gegen einander isolierten Armen eines über die Ankerwelle geschobenen Sternrades befestigt. Dieses trägt wieder zwei konzentrisch angeordnete, gegen das

Rad gut isolierte Metallringe; der eine (+ Pol) steht mit den fünf + Bürsten, der andere (— Pol) mit den fünf — Bürsten in Verbindung; die Ableitung erfolgt wieder durch Kabel, die je zweimal an die Ringe gelegt sind. Die Einstellung auf Funkenlosigkeit wird durch Drehen des (in der Figur ganz vorne unterhalb der Welle) am vorderen Teile befindlichen Rades bewirkt, das auf seiner Welle ein kleines Zahnrad trägt; dieses greift in ein gröſseres (innerhalb der angeführten

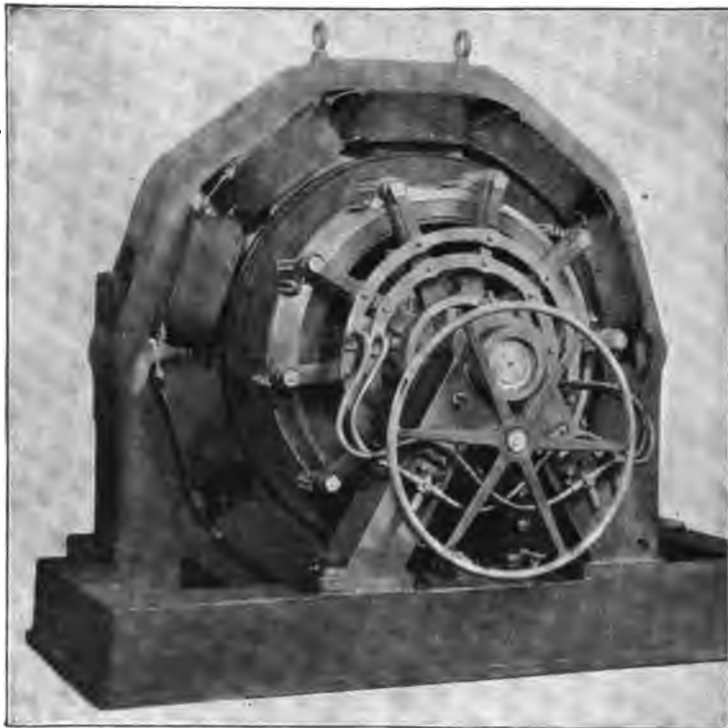


Fig. 96.

Polringe sichtbares) Zahnrad ein, welches fest mit dem Bürstenkranze verbunden ist.

Daſs mit der Leistungsfähigkeit, Polzahl etc. auch die äuſseren Maſse einer Maschine wachsen, braucht nicht erst besonders hervorgehoben zu werden. Bei der Bemessung des Raumes, in dem Maschinen aufzustellen sind, ist diesem Umstande selbstverständlich Rechnung zu

tragen; die Maſstabellen der einzelnen Fabriken geben die nötigen Anhaltspunkte.

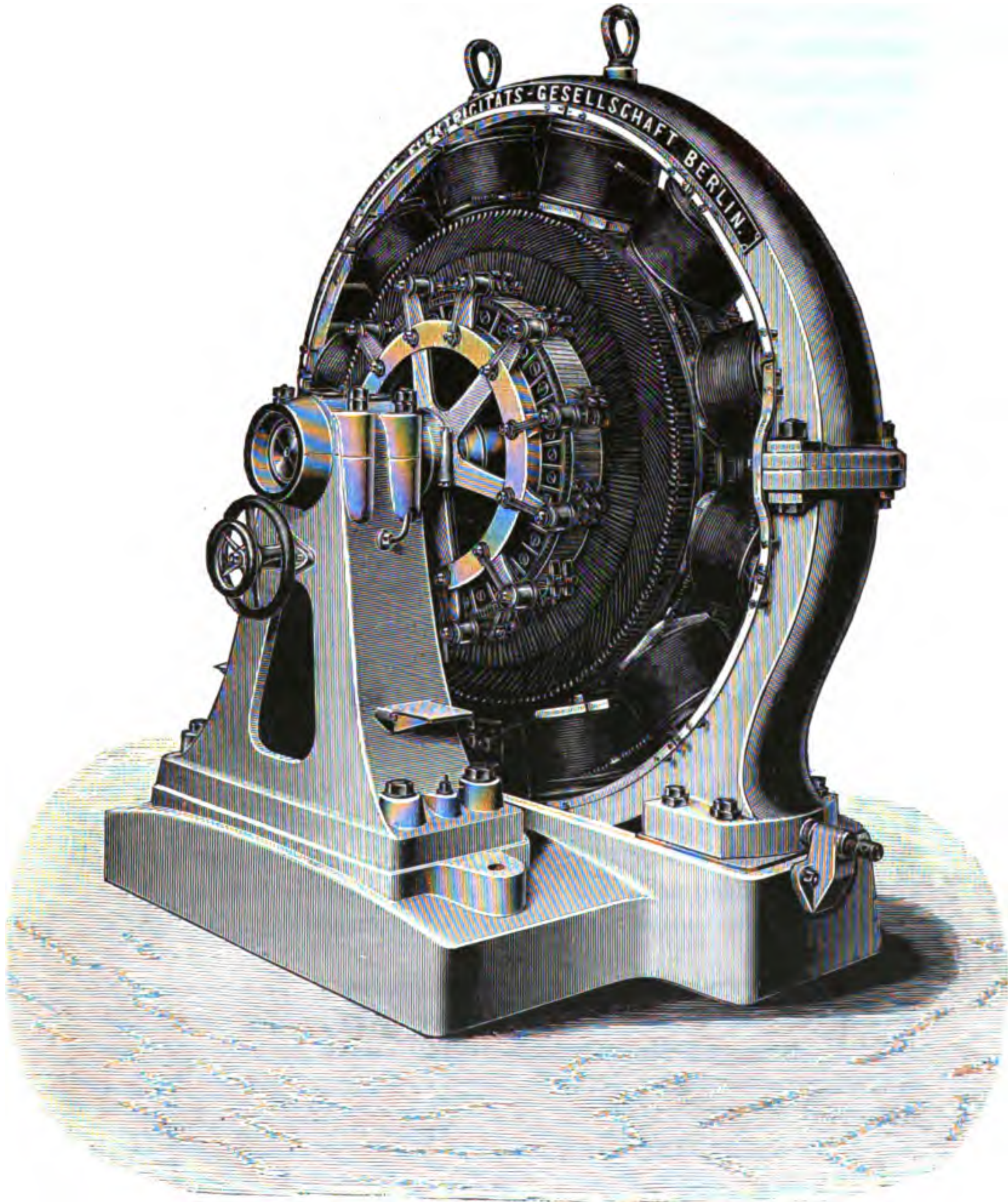


Fig. 97.

Zehnter Vortrag.

Verhalten und Regulierung der verschiedenen Gleichstrommaschinen. Spannungswecker von Siemens, von Schuckert. Automatische Reguliervorrichtungen von Siemens, der A.E.G. und Helios. Parallelschaltung von Dynamomaschinen. Wirkungsgrad.

Von den Hauptstrommaschinen wurde schon früher gesagt, daſs sie äuſserst empfindlich gegen jede Änderung der Netzspannung sind, da doch Magnet- und Ankerwickelung in Serie geschaltet sind und somit beide gleichmäſsig an irgend welchem Spannungsabfall bezw. -zuwachs teilnehmen. Die Verwendung der Serienmaschine für Beleuchtungszwecke und andere bedeutenden Schwankungen unterworfene und doch wieder genaue Regulierung erfordernde Betriebe ist aus diesem Grunde ausgeschlossen.

Man nimmt in solchen Fällen meistens die Nebenschluſsmaschine, während die erstere beispielsweise dann gebraucht wird, wenn nur Motoren — oder noch besser nur ein einziger Motor — von ihr angetrieben werden. Im letzteren Falle erfolgt die Spannungsregulierung meistens direkt von der Primärmaschine aus. Damit ist aber nicht gesagt, daſs die Nebenschluſsmaschine, die hauptsächlich viel für Beleuchtungsanlagen und gemischte Betriebe (Motoren und Lampen) in Betracht kommt, durchaus keiner Regulierung bedürfe. Im Gegenteil: zu jeder Nebenschluſsmaschine gehört ein **„Nebenschluſs-Regulierwiderstand“**, der mit der Magnetwickelung in Serie oder ähnlich geschaltet wird. Die Fig. 98 zeigt uns eine solche Anordnung (He.-K.). In dem Schema ist: J = Ampèremeter, HA = Handausschalter, MA = automatischer Minimalausschalter, S = Sicherung, NR = Nebenschluſsregulierwiderstand. Für das Anlassen und Abstellen der Maschine sind nach Angabe der ausführenden Firma folgende Handgriffe zu beachten:

1) Zwecks **Erregung der Maschine** wird zuerst der Handausschalter eingeschaltet und der Hebel des Regulators solange nach rechts gedreht, bis Maschinen- und Netzspannung übereinstimmen. Durch Einschaltung von MA wird dann die Maschine parallel auf das Netz geschaltet.

2) Zwecks **Abschaltung der Maschine vom Netz** wird die Maschine bis zum Herausfallen von MA herunterreguliert; der Hebel wird in die Anfangsstellung zurückgedreht und dann HA ausgeschaltet.

Während der ganzen Dauer des Betriebes mufs die Spannung durch entsprechendes Verstellen des Regulatorhebels konstant gehalten werden. Sinkt die Spannung unter die normale (z. B. 110 V.), so mufs Widerstand ausgeschaltet werden (Drehung nach rechts im vorliegenden Falle), denn dadurch wird der Strom in der Magnetwickelung und damit das magnetische Feld verstärkt; steigt die Spannung über die normale hinaus, so mufs Widerstand zugeschaltet werden. Um diese

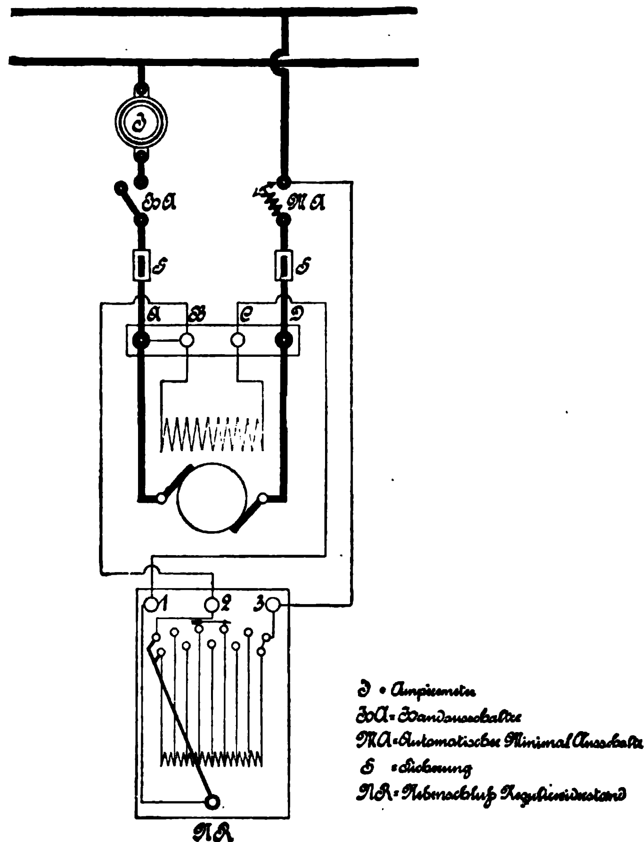


Fig. 98.

Regulierung auszuführen, würde es scheinbar das einfachste sein, dafs ein Mann beständig das Voltmeter der Schalttafel kontrolliert und danach die Manipulationen vornimmt. Dies ist jedoch eine recht langweilige Sache, die aufserdem durch die Lohnung einer Kraft für diesen einzigen Zweck teuer wird. Um diese Handreichung dem dienstthuenden Maschinisten mit übertragen zu können, bringt man an der Schalttafel Signalapparate (sogen. **Spannungswecker**) an, die akustisch

oder optisch (bezw. auf beide Weisen gleichzeitig) eine Veränderung der Spannung nach oben oder unten anzeigen und so den Wärter aufmerksam machen. Unter den vielen Konstruktionen dieser Art heben wir zwei häufig auch in Bergbaucentralen vorkommende hervor:

1) **Der Spannungswecker von S. u. H.** (Fig. 99).

Er ist eigentlich nichts anderes, als ein Voltmeter (Spule mit Eisenkern; vgl. Fig. 13 u. 14) und wird daher auch so geschaltet. Er bietet noch den Vorteil, dafs mit ihm auch Spannungen an entfernt liegenden Punkten des Netzes kontrolliert werden können. Wir nehmen diesen komplizierteren Fall für unser Schema an und zeichnen die von dem betreffenden Punkte kommenden Drähte punktiert. Die Spule *A* (der Hauptteil des Instrumentes) wird mit dem dazu in Serie geschalteten

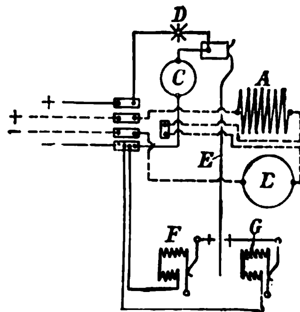


Fig. 99.

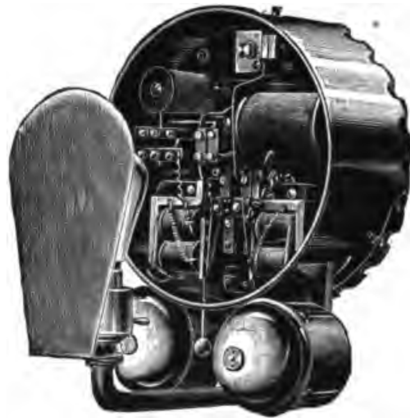


Fig. 99a.

Widerstande *B* als Voltmeter an die Leitung (an + und —) gelegt. *D* ist eine Glühlampe, durch deren Einschaltung der Apparat in Betrieb gesetzt wird; aufserdem dient sie zur Beleuchtung. An den Widerstand *C* sind einerseits zwei elektrische Glocken *F* und *G*, andererseits die Zunge *E* gelegt; an dieser ist der in die Spule *A* hineinragende Eisenkern befestigt. Die federnde Zunge *E* wird von der Fabrik so eingestellt, dafs sie sich bei normaler Spannung genau zwischen den beiden Glockenkontakten befindet, ohne diese zu berühren. Wird die normale Spannung überschritten, so wird der Eisenkern eingezogen und dadurch die Zunge an den Kontakt rechts gedrückt. Die rechte Glocke steht also unter Strom: sie ertönt. Ein Sinken der Spannung unter die normale bewirkt ein Loslassen des Eisenkernes und vermöge der Federkraft der Zunge *E* Herstellung des Kontaktes an der linken Glocke. Beide Glocken sind verschieden gestimmt. — Die Totalansicht unseres Apparates giebt Fig. 99a.

2) **Spannungs-Signalapparat von Schu.-N.** (Fig. 100).

Der Apparat beruht auf denselben Konstruktionsprinzipien, wie der vorige; er unterscheidet sich von diesem dadurch, dafs aufser den Glocken noch verschiedenfarbige Glühlampen (rot und grün) eingeschaltet sind, deren Aufleuchten dem Maschinisten, falls das Läuten infolge starker Geräusche im Maschinenraume oder dergl. nicht gehört werden kann, ein Zeichen für die notwendige Regulierung ist. Im übrigen ist die Anordnung durch die Figur verständlich; das wichtige „**Spannungsrelais**" befindet sich oben. Die Spule (unter dem Schutzkorb) steht senkrecht. Statt der Zunge ist hier ein Platinscheibchen.

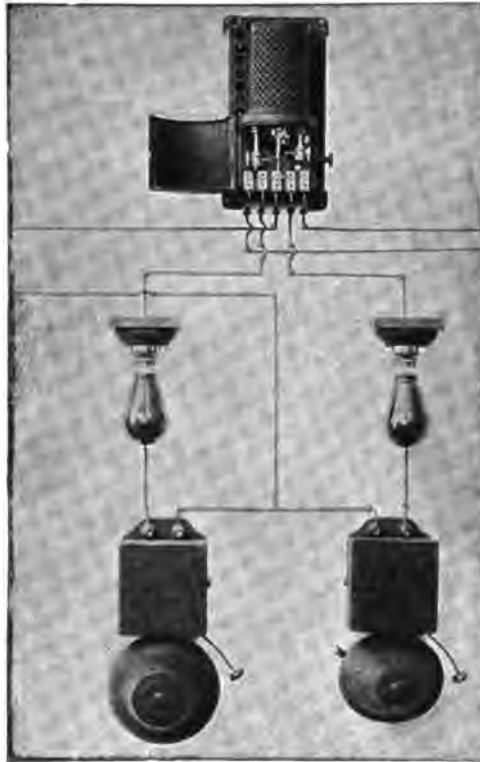


Fig. 100.

Nicht selten wünscht man jedoch, die Wartung der Maschine (abgesehen vom Anlassen und Abstellen) ganz entbehren zu können, um so an Lohn zu sparen. Dieser Gesichtspunkt ist bei den heutigen kostpieligen Betriebsverhältnissen im Bergbau und Hüttenwesen nicht hoch genug anzuschlagen. Seine volle Berücksichtigung findet er von seiten der bedeutendsten Firmen durch den Bau der **selbstthätigen Regulatoren**: ihre Konstruktionsweisen stehen im engsten Zusammenhange mit den soeben besprochenen Spannungsweckern. Wir führen hier drei an:

1) **Selbstthätige Einstellvorrichtung von S. u. H.** (Fig. 101—103). Diese besteht aus zwei bezw. drei Hauptteilen:

a) dem **Steuerapparat.** Dieser ist nichts anderes als der vorhin beschriebene Spannungswecker; nur sind hier die Glocken und die Glühlampe fortgefallen (Fig. 101). Die beiden Kontaktschrauben sind unten sichtbar. Soll die Zunge noch gegen Erschütterungen und etwa dadurch herstellbare Kontakte geschützt werden, so versieht man sie an

ihrem unteren Ende mit einer Kupferscheibe, die zwischen den Polen eines Elektromagneten schwingt (Fig. 102). Die durch diese Schwingungen



Fig. 101.



Fig. 102.

in der Scheibe erzeugten Foucaultströme bringen die Zunge sofort zur Ruhe. (Elektromagnetische Dämpfung, vgl. 10. Vortr., Fig. 75.)

b) **Klinkwerk nebst Regulierwiderstand** (Fig. 103).



Fig. 103.

Auf die Achse des Stufenschalters (Regulierwiderstandes) ist ein Klinkrad aufgesetzt. In dessen Nuten **können** die zwei Sperrklinken einer Schubstange (links) bei deren Auf- resp. Niedergange eingreifen, falls sie durch den Anker eines seitlich (links) montierten Elektromagneten dagegen gedrückt werden. Die Auf- und Abwärtsbewegung der Schubstange (in der Minute etwa 100 Mal) wird mittels Welle und Excenter durch Riemenantrieb entweder von einer schon vorhandenen Welle (Fig. 103a) aus oder durch einen besonderen Elektromotor besorgt (Fig. 103b). Der schon erwähnte Elektromagnet erhält den Strom durch einen auf der Excenterrolle befestigten Schleifkontakt; dieser ist als auf die Welle isoliert aufgesetzter Metallring ausgeführt, der links und rechts zwei um 180° gegeneinander versetzte Vorsprünge trägt; er schleift

gegen drei Federn. Die mittlere, mit dem Kontaktringe fortwährend in Berührung bleibende Feder ist mit der Wickelung des Magneten verbunden; die äufseren Federn dagegen stehen mit beiden Kontakten des Steuerapparates in Verbindung. Da sie auf Backen schleifen, so sind die beiden so erhaltenen Leitungen nur zeitweilig geschlossen, und zwar ist die Einstellung des Kontaktringes so getroffen, dafs die linke Feder beim Niedergange, die rechte beim Aufgange der Schubstange den Ring berührt.

Der Apparat funktioniert folgendermafsen (siehe auch die Schemata Fig. 103a und 103b):

α) Sinkt die Spannung, so legt sich die Zunge des Steuerapparates gegen die **linke** Kontaktschraube; diese steht mit der **linken** Feder

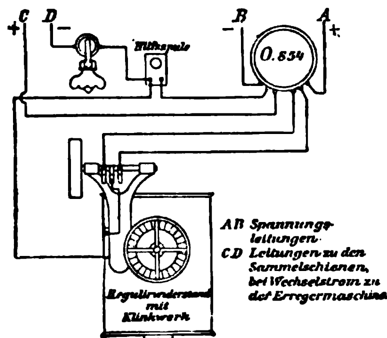


Fig. 103a.

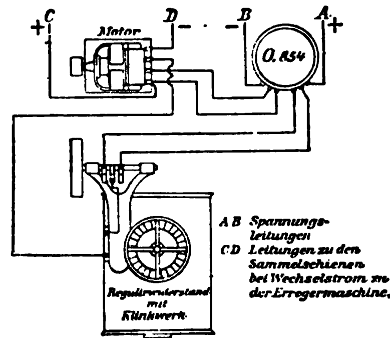


Fig. 103b.

des Klinkwerkes durch Leitung in Verbindung. Daher ist der Strom nur beim **Niedergange** der Schubstange geschlossen. Nur bei dieser Bewegungsrichtung wird der Anker des Magneten gegen die Klinke gedrückt; diese dreht daher das Klinkrad umgekehrt wie der Zeiger der Uhr, so dafs Widerstand ausgeschaltet wird und dadurch die Feldstärke und mit ihr die Spannung steigt. Bei jedem (Nieder-)Gange wird das Rad um einen Zahn und somit der Schalthebel um eine Widerstandsstufe weiter gedreht. Diese Drehung hält solange an, bis die normale Spannung erreicht ist; denn dann hört der Kontakt der Zunge mit der linken Schraube auf.

β) Steigt die Spannung über die normale, so wird die Zunge an die rechte, mit der rechten Klinkwerkfeder leitend verbundene Kontaktschraube gedrückt. Es ist demnach jetzt beim **Emporsteigen** der Schubstange Stromschlufs. Daher wird das Rad im Sinne des Zeigers der Uhr gedreht, d. h. es wird Widerstand zugeschaltet.

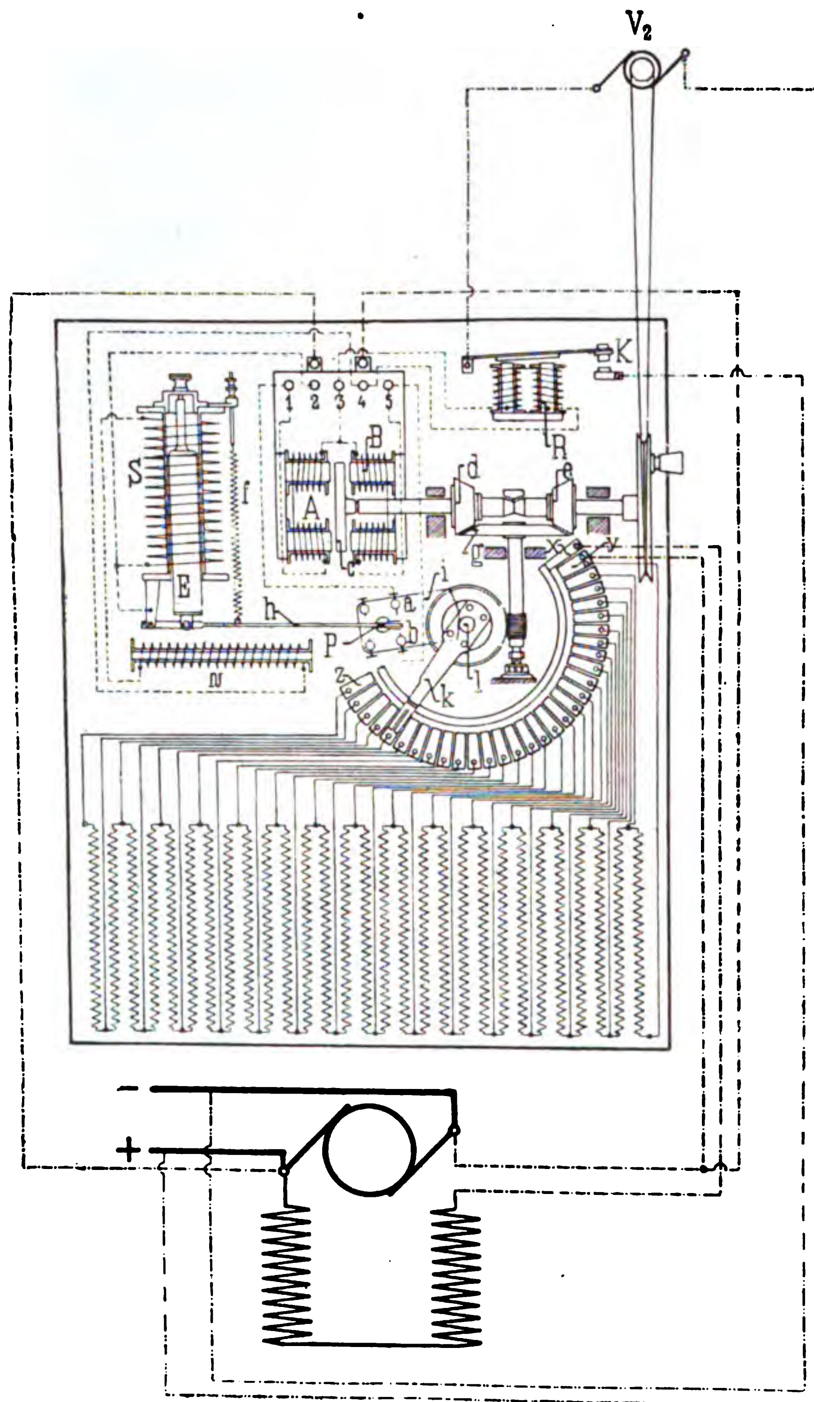


Fig. 104.

Das Anlassen und Abstellen der Maschine erfolgt genau, wie es an Fig. 98 beschrieben wurde, also von Hand durch Drehen des Klinkrades. Ist das erstere geschehen, so wird der Antriebsmotor in Bewegung gesetzt und die Regulierung erfolgt von da an automatisch. Infolge des schnellen Ganges (100 Mal pro Minute) der Schubstange ist die Regulierung so fein, dafs stundenlang die Spannung konstant gehalten wird. Es wird die Wartung gespart. Da der Preis des Apparates ca. 500—800 Mark ist, je nach den Umständen, so macht er sich schon in 8—12 Monaten bezahlt und ist von da ab ein billiger Arbeiter.

2) **Selbstthätiger Nebenschlufsregulator der A. E. G.-B. System Thury.**

Aus Fig. 104 ist die gesamte Anordnung zu ersehen.

S ist die Spannungsspule, die mit einem Vorschaltewiderstande *w* in Serie geschaltet ist; sie wirkt wieder als Voltmeter. In die Spule ragt die Eisenröhre *E*, welche auf einen (um eine links davon gelegene Achse drehbaren, einarmigen) Hebel *h* wirkt, der bei normaler Spannung mittelst der Feder *f* frei zwischen den Kontakten *a* und *b* schwebt. Legt sich der Hebel, der an seinem Ende zwei Kontaktfedern trägt, gegen den Kontakt *a*, so wird der Stromkreis des Elektromagneten *A* geschlossen. Wird aber *b* berührt, so wird der Magnet *B* erregt. Zwischen diesen Magneten ist eine Eisenscheibe *C* drehbar; diese sitzt auf einer horizontalen Welle, welche entweder von einer vorhandenen zweiten Welle aus oder durch einen Motor V_2 angetrieben wird; sie macht 200—300 Umdrehungen pro Minute. Die horizontale Welle trägt aufser der Eisenscheibe noch zwei konische Scheiben *d* und *e*. Je nachdem die Scheibe *C* von dem Magneten *A* oder *B* angezogen wird, drückt die Scheibe *d* oder *e* auf das horizontale Triebrad *g* und setzt dieses in Bewegung. Die Welle des Rades *g* trägt an ihrem unteren Ende eine Schraube ohne Ende, die ein Schneckenrad und den mit diesem verbundenen Schleifkontakt *k* dreht. Dadurch wird die erforderliche Widerstandsänderung vorgenommen. Das Funktionieren des Apparates ist nach diesen Andeutungen und mit Hülfe des Schemas leicht zu verstehen. — Es möge hier noch eine ebenfalls angebrachte Vorrichtung beschrieben werden, die gestattet, dafs mit steigendem Stromverbrauche auch die Spannung der Maschine etwas gesteigert wird, um den Spannungsverlust aufzuheben, der in der Leitung von der Maschine bis zur Verbrauchsstelle entsteht. Die Kontaktschrauben *a* und *b* sind nämlich auf einem Zwischengliede *i* angebracht, das um *P* beweglich ist und eine Verzahnung trägt, in die der auf der Achse des Hebels *k* sitzende Trieb *l* eingreift. Hierdurch

wird eine zwangsläufige Verstellung der Kontaktschrauben *a* und *b* in der Weise erreicht, dafs, falls der Hebel *k* bei *xy* steht und so die Dynamomaschine stark belastet ist, eine Spannungssteigerung früher eintritt, als bei der Stellung des Hebels in *z*. — Das weiter noch angebrachte Relais *R* nebst Kohlenausschalter *K* hat den Zweck, den Stromkreis des Motors erst dann zu schliefsen, wenn der Hebel *h* an *a* oder *b* anliegt. Dadurch soll ein fortwährendes Laufen des Motors und die damit verbundene Abnutzung vermieden werden. Diese letzte Einrichtung hat jedoch für Nebenschlufsregulatoren wenig Wert, da hier die Spannungsschwankungen und das daher erforderliche Laufen des Motors zu häufig sind. Sie ist eigentlich auch nur für Hauptschlufsregulatoren und für Zellenschalter*) bestimmt.

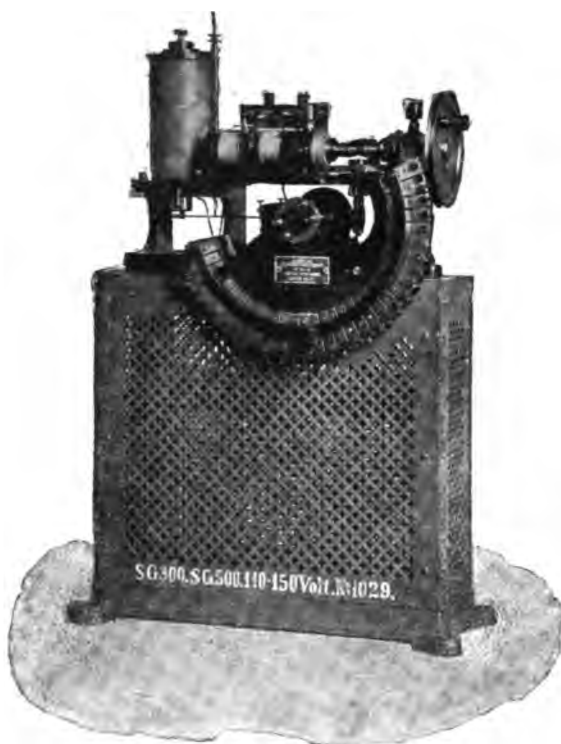


Fig. 105.

Die Fig. 105 giebt uns die äufsere Ansicht des Thury-Regulators.

3a) **Selbstthätiger Nebenschlufsregulator mit mechanischem Antriebe von Schu.-N.**

Das früher beschriebene Schuckert'sche Spannungsrelais ist mit dem Regulierwiderstande in geeigneter Weise geschaltet. Die Bewegung eines (vorne unten sichtbaren) Klinkrades wird durch eine seitlich angebrachte Schnurscheibe bewirkt, welche 60—80 Umdrehungen pro Minute macht. Die Drehung des Klinkrades in dem einen oder anderen Sinne wird durch Sperrklinken ausgeführt, welche vermittelst Hebelübertragung durch die in die Stromkreise des Relais eingeschalteten Elektromagnete (Relais über den Kontakten!) bethätigt werden (Fig. 106).

*) S. die Akkumulatoren im 18. Vortr.

3b) **Selbstthätiger Nebenschlufsregulator mit elektrischem Antrieb von Schu.-N.** (Fig. 107).

Hier erfolgt der Antrieb des Schaltwerkes durch einen Elektromotor, der mit den Widerstandskontakten auf einer gemeinsamen Grundplatte montiert ist. Die in Fig. 106 über den Kontakten befindlichen Relaisspulen sind hier ganz unten. Sie regulieren durch Heben und Senken der beiden (in der Mitte unten sichtbaren) Bürstenpaare die Stromzuführung zum Motor und dessen Drehrichtung. Die Achse des Motors ist oben

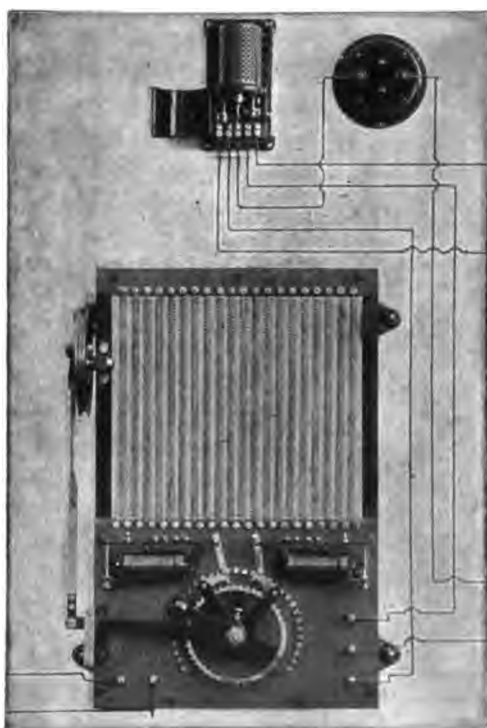


Fig. 106.



Fig. 107.

mit einer Stange gekuppelt, die an ihrem anderen Ende eine Schraube ohne Ende trägt, die in das den Kontakthebel tragende Rad eingreift.

Aufser diesen hier angeführten Regulatoren sind noch eine ganze Reihe anderer gebaut worden, deren Konstruktionsprinzip jedoch wenig von dem der vorstehenden verschieden ist.

Bei Beleuchtungsanlagen oder gröfseren Centralen für Lieferung elektrischer Energie tritt nicht selten das Bedürfnis ein, während einer bestimmten Zeit des Tages wegen gröfseren Energiebedarfes der Konsumenten die Leistung der Centrale, d. h. die Abgabe der Wattmenge

an das Netz zu steigern unter Beibehaltung der einmal festgesetzten Spannung. Dies kann nur dadurch geschehen (4. Vortr. Fig. 26 u. 27), dafs man zu der bereits im Betriebe befindlichen Maschine eine oder mehrere als Reserve vorhandene parallel schaltet. Bei dieser Manipulation ist Hauptbedingung, dafs die zuzuschaltende Maschine genau dieselbe Spannung habe, welche an den Enden des äufseren Stromkreises herrscht. Um dies zu erreichen, läfst man die zweite Maschine zunächst bei offenem Stromkreise laufen und reguliert die Schenkelerregung durch den Nebenschlufswiderstand oder durch die Tourenzahl (letzteres seltener) so, dafs das an die Klemmen der Maschine durch einen Mehrfachumschalter gelegte Voltmeter dieselbe Spannung zeigt, welche im Stromnetze herrscht. Ist dies erzielt, so schaltet man die Maschine durch einen Hebelausschalter parallel auf das Netz. Wir haben das ganze Verfahren schon bei Besprechung des durch die Figur 98 gegebenen Schemas angedeutet.

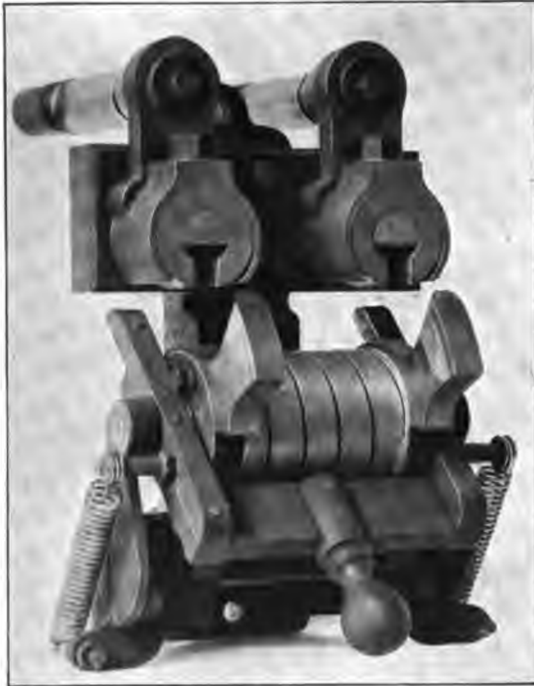


Fig. 108.

Nun kann es aber vorkommen, dafs die eine oder die andere der parallel geschalteten Maschinen aus irgend einem Grunde in ihrer Klemmspannung nachläfst. Besonders leicht (und auch in ebenso unangenehmer Weise) kann dies geschehen, wenn Maschinen verschiedener Leistung (z. B. I habe 25 Kilowatt bei 110 Volts, II 150 Kilowatt bei 110 Volts) parallel auf dasselbe Netz arbeiten. Tritt nämlich der angegebene Fall ein, so wird der Strom der Maschine mit höherer Spannung (z. B. II) in die Maschine, deren Spannung gesunken ist, fliefsen und nun diese als Motor antreiben, statt mit ihr zusammen Strom an das Netz abzugeben. Etwas ähnliches kann eintreten, wenn die Spannung der einen Maschine aus irgend welchen Ursachen über die normale steigt. Gegen

beide Eventualitäten sichert man sich durch Anbringung von **Schwachstrom-** bezw. **Starkstromausschaltern.** Unter den vielen guten Erzeugnissen dieser Art wollen wir nur je eines hervorheben.

1) **Selbstthätiger Schwachstromausschalter von Schu.-N.** (Fig. 108).

Die Enden eines aus dicken Kupferschienen (hier fünf Windungen) bestehenden Solenoïdes sind zu Stromschlufsstücken ausgebildet, welche in federnde Stromschlufsringe eingreifen. In dieser Spule, die vom Hauptstrome durchflossen wird, befindet sich ein Eisenkern, der an seinen Enden in zwei Zapfen ausläuft. Auf dem letzteren ist ein Rahmen befestigt, der zwei eiserne Polstücke trägt. Diese werden, falls der Strom durch das Solenoïd fliefst, von einem festen Anker derartig angezogen, dafs die Stromschlufsstellung erhalten wird. Zwei Schraubenfedern suchen dagegen den Elektromagneten zu drehen und so die Stromunterbrechung herbeizuführen. Dies wird geschehen, falls die Stromstärke auf ein bestimmtes Mindestmafs sinkt.

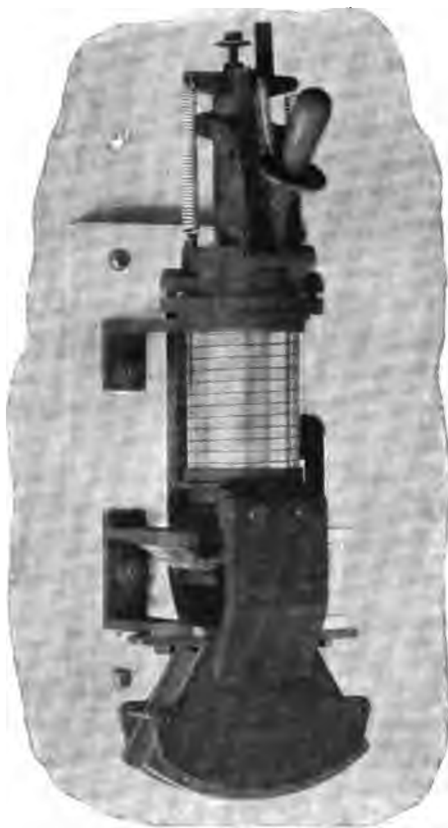


Fig. 109.

2) **Selbstthätiger Starkstromausschalter derselben Firma** (Fig. 109).

Hier befindet sich im Innern der senkrecht stehenden Spule eine Metallröhre, in der sich noch ein lose stehender, unten mit einer Nase versehener Eisenkern befindet. Dieser wird, wenn die Stromstärke ein gewisses Maximum übersteigt, in dem vom Hauptstrome durchflossenen Solenoïde hochgezogen, seine Nase stöfst gegen eine Klinkvorrichtung, wodurch der Strom (im oberen Teile des Apparates) durch Hochschnellen der den Kontakt tragenden Metallröhre unterbrochen wird.

Sonstige für einen gleichmäfsig sich abwickelnden Betrieb erforderliche Instrumente werden in einem späteren Vortrage besprochen werden.

Wir wollen hier nur noch Einiges über die **Leistung der Dynamomaschinen** sagen.

Wie jede Vorrichtung, die Energie der einen Art in solche anderer Art umsetzt, giebt auch unsere Dynamomaschine nicht den vollen Wattbetrag wieder heraus, welcher der ihr zugeführten mechanischen Energie entsprechen würde. Wenn wir an der Achse des Ankers einer Dynamomaschine 10 PS. angreifen lassen, so müfsten wir theoretisch 7360 Watt erhalten. In Wirklichkeit werden jedoch nur etwa 6450 Watt geliefert. Es treten eben bei unserer Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Verluste auf, die mannigfacher Art sind. Sie können mechanischer und elektrischer bezw. magnetischer Natur sein:

1) Durch **Reibung** hervorgerufene Verluste. Lagerreibung, Luftreibung, Bürstenreibung.

2) Durch **Stromwärme im Anker** erzeugte Verluste.

3) **Übergangsverluste** an den Berührungsstellen der Bürsten mit dem Kollektor.

4) Durch **Hysteresis** und **Foucaultströme** sowohl im Anker als auch im Magnetsystem hervorgerufene Verluste. Man bezeichnet sie auch wohl als **Eisenverluste.**

5) Verluste, die durch **Erregung** des magnetischen Feldes hervorgerufen werden.

Wir sprechen aus diesem Grunde von dem **Wirkungsgrade** einer Dynamomaschine und verstehen darunter den Quotienten:

$$\frac{\text{Watt-Ausgabe}}{\text{Kraftbedarf}} = \frac{\text{in Watt ausgedrückte abgegebene Energie}}{\text{in Watt ausgedrückte zugeführte Arbeit}}.$$

Statt in Watt kann man selbstredend auch alles in PS. oder kgm ausdrücken. Ein Beispiel soll uns die Bedeutung des Quotienten völlig klar machen: Für eine Dynamomaschine werde eine Arbeit von 100 PS. durch eine Dampfmaschine, Wasserturbine oder dergl. aufgewandt. Die am Voltmeter abgelesene Spannung sei 500 Volts, die Stromstärke 136 Amp. Die erzeugte Energie beträgt dann 68000 Watt oder 68 Kilo-Watt. Die aufgewandte Energie ist $100 \cdot 736 = 73600$ Watt. Demnach ist der Wirkungsgrad dieser 100pferdigen Maschine: $\frac{68000}{73600} =$ **0,924.** Meistens multipliziert man diese Zahl noch mit 100 und drückt den Wirkungsgrad in Prozenten — hier 92,4% — aus. Unser oben für 10 PS. angeführtes Beispiel würde einen Wirkungsgrad von 87,6% liefern. Wir können überhaupt die Regel aufstellen, dafs der **Wirkungsgrad mit der Maschinengröfse wächst.** Zur Bekräftigung dieser Behauptung mögen einige der Preisliste 1900 von Schu.-N. entnommene Beispiele dienen

Maschinenmodell:	Leistung in KW:	Kraftbedarf in PS.:	Wirkungsgrad:
A $\frac{3}{4}$	0,6	1,2	67,9 %
A $1\frac{1}{2}$	1,5	2,5	81,5 %
A 5	5,2	8,3	85,1 %
A 14	14,0	21,5	88,5 %
A 30	30,0	46,4	87,8 %
A 70	70,0	104,0	91,4 %
A 140	140,0	207,0	91,9 %
ZH 30	30,0	48,0	84,9 %
ZH 70	70,0	107,0	88,9 %

Ein Blick auf diese Zusammenstellung, die natürlich ebensogut dem Preisbuche irgend einer anderen Firma hätte entnommen werden können, zeigt, dafs die Maschinen-Modelle ZH, welche für Arbeitsübertragung auf sehr grofse Entfernungen bestimmt sind und demgemäfs für Spannungen von 750 bis 3000 Volt und geringe Stromstärken gebaut werden, einen geringeren Wirkungsgrad haben, als die Modelle A von gleicher Wattleistung. — Der Wirkungsgrad hängt überhaupt sehr von dem aufgewendeten Kupfergewicht ab; er ist daher eine Preisfrage, d. h. soll der Wirkungsgrad derselben Maschine gesteigert werden, so ist das nur durch Mehrkosten erreichbar. Dieser höhere Geldaufwand kann sich indessen nicht selten wohl bezahlt machen, wie folgendes allgemeine Beispiel, das wir der E. T. Z. 1900, Heft 35 entnehmen, lehrt: Eine 100 KW-Maschine, deren Wirkungsgrad 91,5% beträgt, soll durch Mehraufwand von Kupfer einen solchen von 92% erhalten. Dies verursacht eine Verteuerung der Maschine um 300—400 Mk. Werden 1000, 3000 und 6000 Betriebsstunden pro Jahr und ein Verbrauch von 2 kg Kohle pro PS.-Stunde angenommen, so würden 1600, 4800 und 9600 kg Kohle gespart werden. Kosten 1000 kg Kohle 20 Mk., so macht das eine Ersparnis von 32, 96 und 192 Mk. pro Jahr, die schon der Berücksichtigung wert ist.

Diese Auseinandersetzung würde uns bei Beschaffung einer Dynamomaschine zu dem Grundsatze führen, immer nur die Maschine vom besten Wirkungsgrade zu wählen. Nun ist aber die Bestimmung des Wirkungsgrades nicht so einfach und absolut genau, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag. Man mufs dabei bedenken, dafs beide Energien (mechanische und elektrische) mit verschiedenen Instrumenten (mit Pronys Zaum oder auch Bremsdynamometer bezw. Voltmeter und Ampèremeter) gemessen werden, dafs ferner die verschiedenen Elektrizitätsfirmen den einen oder den anderen der oben angegebenen Verluste mehr oder weniger bei der Ermittelung des Wirkungsgrades vernachlässigen. Es sind zur Zeit Erwägungen im Gange, in dieser Hinsicht feste, allgemein bindende Normen im Interesse von Produ-

zenten bezw. Konkurrenten und Konsumenten festzulegen. Es handelt sich selbstredend nur um Differenzen von 0,5—3%. Immerhin ist es für den Käufer stets das sicherste, nicht nur nach dem **niedrigsten** Preise der Offerten, sondern auch danach zu sehen, was in den Maschinen an **Material (Kupfer etc.) steckt.** Das Renommée einer Firma ist immer noch ein wichtiger Anhaltspunkt.

Zu den einzelnen Verlüsten wäre noch folgendes zu bemerken: Die Gröfse der durch Bürstenreibung auftretenden Verluste ist je nach dem angewendeten Material (Kupfer- oder Kohlebürsten) und dem Drucke, mit dem die Bürsten auf dem Kollektor liegen, verschieden. Ein Gleiches läfst sich von den Übergangsverlusten sagen. Die in Wärme umgesetzte und so verlorene Energie darf eine gewisse Grenze nicht überschreiten, da sonst die Temperatur so hoch steigen könnte, dafs die Isolation nicht mehr intakt bleiben würde. Im allgemeinen wird zur Zeit eine Erwärmung der rotierenden Teile um ca. 90° über die Temperatur der Umgebung hinaus als oberste Grenze angenommen.

Eine Maschine kann für kürzere Zeit auch über die garantierte Leistungsfähigkeit hinaus belastet werden; doch ist das auf die Dauer nicht zulässig und sollte überhaupt nach Möglichkeit vermieden werden, da die Maschine infolge übermäfsiger Erwärmungen leicht Schaden an der Isolation nehmen kann. Jedenfalls kann eine Garantie innerhalb weiter Grenzen in dieser Hinsicht nicht gut von der liefernden Firma verlangt werden.

Elfter Vortrag.

Die Gleichstrommotoren. Anlafs- und Umkehrvorrichtungen. Verwendungsbereich. Änderung der Tourenzahl. Automatischer Anlafswiderstand mit Minimalauslösung.

Wir hatten bisher stets mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. Es soll jetzt versucht werden, diese elektrische Energie wieder in die erstere Form zurückzubringen, d. h. die Dynamomaschine als **Motor** laufen zu lassen. Dafs es dabei auch wieder nicht ohne Verluste abgehen wird, ist selbstverständlich.

Um uns eine Vorstellung von den zu erwartenden Vorgängen zu machen, führen wir folgenden Versuch aus: Eine Aluminiumspirale ist um eine vertikale Achse in der durch Fig. 110a dargestellten Art drehbar. Um sie von Strom durchfliefsen lassen zu können, sind die Enden mit Platinspitzen versehen, die je in einen halbkreisförmigen

Quecksilberbehälter tauchen. Diese sind durch eine Querwand getrennt, die wegen des konvexen Meniskus des Quecksilbers so viel tiefer als dieses liegt, daſs die Spitzen bei einer Drehung der Spirale ohne weiteres darüber hinweggehen können. Zu jedem Behälter führt ein Zuleitungsdraht; in diesen ist ein Stromwender eingeschaltet. Parallel zur Umdrehungsachse der Spirale und in der Ebene der Scheidewand werden zwei längere Stabmagnete aufgestellt. Sind Stromzuführung, Stellung der Magnetpole und Lage des Solenoïdes die in Fig. 110b angedeuteten, so erfolgt bei Stromschluſs, wie leicht ersichtlich, die Drehung der Spule umgekehrt, wie der Zeiger der Uhr: wir haben gewissermaſsen das Modell eines kleinen Motors. In der Stellung *I* (Fig. 110c) ist das Drehmoment ($P_1 \cdot d_1$) im allgemeinen am gröſsten,

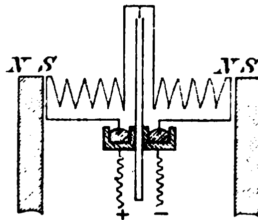


Fig. 110a.

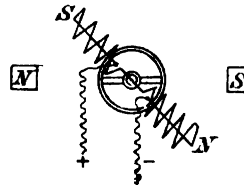


Fig. 110b.

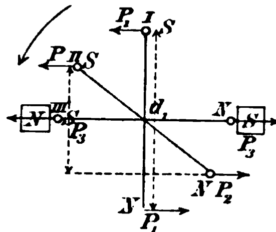


Fig. 110c.

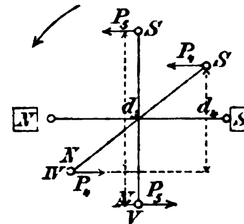


Fig. 110d.

bei *III* wird es ($P_3 \cdot 0) = 0$. Es würde hier demnach keine Drehung mehr erfolgen, sondern die Spule in der Richtung der Verbindungslinie der Pole verharren, wenn sie nicht gleichzeitig über die Scheidewand hinausgetrieben und dadurch der Strom in ihr kommutiert würde; denn die Spitzen haben die Hg-Näpfe vertauscht. Die Pfeilspitzen sind jetzt — da ja Abstoſsung erfolgt — umzukehren; der Drehsinn bleibt derselbe (Fig. 110d). **Wie können wir diesen verändern?** Dazu bieten sich offenbar **zwei** Möglichkeiten:

1) **Wir kommutieren den Ankerstrom** (von auſsen) durch unseren Umschalter. In Fig. 110b sind dann die Solenoïdenden mit umgekehrter Polbezeichnung zu versehen und ebenso in den Fig. 110c und

110d die Pfeilspitzen umzukehren. Das Solenoïd dreht sich in entgegengesetzter Richtung (wie der Zeiger der Uhr).

2) **Beide Magnetstäbe werden umgedreht, was einer Ummagnetisierung bezw. Vertauschung der Pole gleichkommt.** Auch in diesem Falle sind, wie leicht einzusehen ist, die Pfeilspitzen zu vertauschen.

Würden wir dagegen gleichzeitig den Strom im Solenoïd kommutieren und die Polaritäten der ihm gegenüberstehenden Magnete umdrehen, so würde der Drehsinn des „Motors" derselbe bleiben.

Was hier von dem im magnetischen Felde zweier Magnete drehbaren Solenoïde gesagt worden ist, gilt nun auch mutatis mutandis von der Bewegung des Ankers der Dynamomaschine, deren Bürsten Strom zugeführt wird. Die Dynamomaschine läuft dann als Motor.

Nun wissen wir aber, daſs es drei Arten Gleichstrommaschinen (Serien-, Nebenschluſs- und Kompoundmaschine) giebt. Dementsprechend können auch drei Motorarten gebaut werden. Da aber bei allen dreien die Schaltungen von Anker- und Magnetwickelung verschieden sind, so werden sie sich auch alle **drei** beim Einleiten eines Stromes in die Klemmen in bezug auf den Drehsinn verschieden verhalten.

Nur **eine** Regel hat für alle drei Gültigkeit.

Während bei der Dynamomaschine der Satz gilt:

„Man lege die **rechte** Hand so in den Ankerstrom, daſs die innere Handfläche auf die Spitze der Kraftlinien zeigt und die Fingerspitzen der positiven Stromrichtung folgen, so giebt der Daumen die Richtung an, in der die Maschine zu drehen ist, um den betrachteten Strom zu erzeugen" **(Dynamoregel).**
muss mit Berücksichtigung des Lenzschen Gesetzes (wenn wir den Strom in den Anker des Motors in derselben Richtung schicken, in der er beim Betriebe des Apparates als Dynamomaschine floſs) die Regel für den Motor lauten:

„Man lege die **linke** Hand so in den Ankerstrom, daſs die innere Handfläche auf die Spitze der Kraftlinien zeigt, während die Fingerspitzen die Stromrichtung in der betr. Spule angeben, so giebt der Daumen die Drehrichtung des Motors an" **(Motorregel).**

Alle diese im vorstehenden erläuterten Verhältnisse sollen bei den drei Motortypen näher betrachtet werden.

I. Der Serienmotor.

Wir betrachten wieder die Fig. 65. Der Strom werde genau so eingeleitet, wie er in dem „Anker der Dynamo" floſs, d. h. er muſs bei der —Bürste (B_1) ein- und bei der +Bürste (B_2) austreten. Die Anwendung unserer „Motorregel" läſst uns dann zu dem Ergebnis kommen, daſs der Anker **umgekehrt** laufen muſs, d. h. hier entgegen-

gesetzt dem Zeiger der Uhr. Die Serienmaschine, die wir hier haben, bestätigt diese Folgerung voll und ganz, wie ein einfacher Versuch zeigt. Wir **vertauschen** die an die Klemmen gelegten Leitungsdrähte, so daſs der +Strom jetzt bei B_2 eintritt: **der Drehsinn bleibt derselbe.** Wir müssen eben bedenken, daſs infolge der eigentümlichen (Serien-)Schaltung von Magnet- und Ankerwickelung der Strom in **beiden** gleichzeitig umgekehrt worden ist, sodaſs auch die Pfeilspitzen der Kraftlinien jetzt nach entgegengesetzter Richtung zeigen. Die Motorregel zeigt dann, daſs der Daumen genau wie vorhin gerichtet ist.

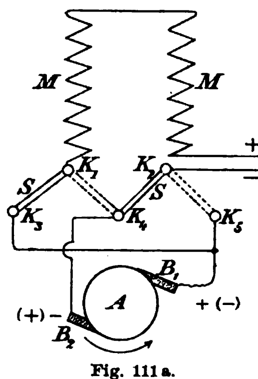
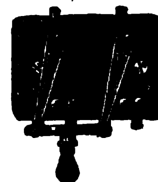


Fig. 111a.

Durch **einfaches** Kommutieren des zugeleiteten Stromes kann der **Serienmotor,** wie man sieht, **nicht „reversiert"** werden. Wir müssen entweder **nur** die Pole vertauschen oder **nur** den **Ankerstrom kommutieren.** Ersteres ist wegen der damit auftretenden Hysteresiserscheinungen nicht rationell und daher nicht anzuempfehlen. Man nimmt aus diesem Grunde lieber zu der zweiten Möglichkeit seine Zuflucht und bewirkt dies durch die in Fig. 111a angegebene Schaltung. Als dazu geeigneten Apparat verwenden wir den in Fig. 111b dargestellten Umschalter. — In Fig. 111a ist MM die Serienwickelung des Magneten, A der Motoranker; K_{1-5} sind die Kontakte, SS die Verbindungsschienen des Umschalters (Fig. 111b). In der durch starke Striche angedeuteten Stellung des Hebels tritt der +Strom bei B_1 in den Anker ein. Bei Hinzunahme der Fig. 65 ergiebt dies eine Drehung des Motors im entgegengesetzten Sinne des Zeigers der Uhr. Bringen wir alsdann den Hebel in die punktiert angedeutete Lage, so tritt der positive Strom bei B_2 in den Anker, während er in der Magnetwickelung genau wie vorher flieſst. Der Motor dreht sich jetzt wie der Zeiger der Uhr.


Fig. 111b.

II. **Der Nebenschluſsmotor.**

Wir haben hier eine kleine Nebenschluſsmaschine (Hauptmann u. Co. bezw. Max Kohl, s. Fig. 176), mit der wir in der Folge noch viel zu experimentieren gedenken. Sie liefert bei ca. 2000 Umdrehungen pro Minute einen Strom von ca. 60 Volts und 4 Ampères, mithin ca. 240 Watt. Um diese Maschine als Motor laufen zu lassen, müssen wir natürlich mehr Strom (ca. 400 bis 500 Watt) hineinschicken. Wir leiten unseren +Strom (von ca. 100 Volts und 4—5 Ampères) abermals so hinein, daſs er in dem Anker so flieſst, wie beim Laufen der Maschine als Dynamo.

Der Versuch liefert die bemerkenswerte Thatsache, **dafs die Nebenschlufsmaschine sich als Motor in demselben Sinne dreht, wie wenn sie als Dynamo arbeitete.** Die Betrachtung des Schaltungsschemas der Fig. 112 läfst uns sofort die Ursache erkennen. Falls nämlich die Maschine als Dynamo läuft, verzweigt sich der aus B_2 kommende (positive) Strom bei *II*, geht zum gröfseren Teil in die Leitung *L*, zum kleineren in der durch die zahlreichen Pfeile angedeuteten Richtung durch die Magnetwickelung, links einen Nord-, rechts einen Südpol erzeugend. Wird jedoch bei *I* der Strom eingeleitet, so wird zwar der Anker in demselben Sinne durchflossen, nicht aber die Magnetwickelung. Dies hat eine Umpolarisierung zur Folge; links ist jetzt Süd- und rechts Nordpol. Mit Hülfe der „Motorregel“ wird dann die oben gefundene Thatsache, dafs die Nebenschlufsdynamomaschine als Motor und als Dynamo gleichsinnig läuft, leicht bestätigt. Ebenso einfach ist zu finden, dafs durch blofses Vertauschen der Zuleitungsdrähte (+ an *II* und — an *I*) wie beim Hauptschlufsmotor keine Reversierung hervorgebracht werden kann. Werden dagegen durch einen Umschalter die Leitungen von *I* und *II* nach B_1 und B_2 umgewechselt, so dreht sich dann der Motor entgegengesetzt. Der Versuch bestätigt das.

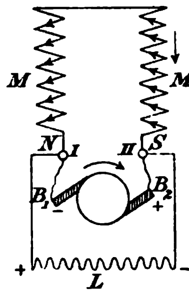


Fig. 112.

III. **Der Kompoundmotor.**

Der Umstand, dafs **zwei** Wickelungen **verschiedener** Schaltung die Erregung des magnetischen Feldes bewirken, bedingt es, dafs die **Kompoundmaschine nicht ohne weiteres als Motor laufen kann.** In Fig. 113 ist zunächst der Stromverlauf in die Windungen eingezeichnet, wie er stattfinden würde, falls die Maschine als Dynamo angetrieben würde. Leitet man nun den positiven Strom bei *I* ein, so ist klar, dafs dann der Strom zwar im Anker und in der Hauptschlufswickelung in demselben Sinne, im Nebenschlufs dagegen **entgegengesetzt** fliefst (gestrichelte Pfeile). Die beiden Wickelungen würden daher den Feldmagneten in **entgegengesetztem** Sinne magnetisieren. Will man die Verbundmaschine als Motor laufen lassen, so mufs man zuvor eine „Umschaltung“ der einen Wickelung vornehmen; es geschieht dies meistens aus technischen Gründen mit der Serienwickelung.

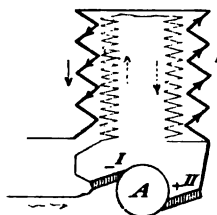


Fig. 113.

Unsere Betrachtungen führen uns zu dem nachstehenden, für den Gleichstrommotorenbetrieb nicht unwichtigen Ergebnisse:

Läfst man die drei Typen von Dynamomaschinen, die alle eine Drehung des Ankers im Sinne des Zeigers der Uhr aufweisen mögen. als **Motor** laufen, so wird der dann erhaltene Drehsinn folgender sein:

beim Serienmotor **umgekehrt** wie der Zeiger der Uhr (also entgegengesetzt),

beim Nebenschlufsmotor **im Sinne des Zeigers der Uhr** (also gleichsinnig), und

der Kompoundmotor wird **erst dann als Motor richtig laufen** und arbeiten, wenn eine **Umschaltung der Hauptschlufswickelung** vorgenommen worden ist.

Die infolge dieser Eigentümlichkeiten der verschiedenen Motorarten erforderlichen Umschaltevorrichtungen werden sehr einfach in ihrem Aufbau und Betriebe sein.

Es kommt jedoch noch eine weitere Erscheinung hinzu, deren durchaus notwendige Berücksichtigung die Handhabung etwas umständlicher macht, als sie ohne jene sein würde.

Wir wollen unseren Nebenschlufsmotor durch einen Strom von 100 Volts und 4—7 Ampères antreiben. Wir schalten in den äufseren Stromkreis ein Ampèremeter und legen an die Klemmen des Motors ein Voltmeter. Hat der Motor seine volle Tourenzahl erreicht (2000), so zeigt das Voltmeter ca. 16—30 Volts, das Ampèremeter vier Ampères. Wir bremsen nun den Motor durch einen an seine Welle gepreſsten Klotz fast bis zum Stillstande des Motors: die Spannung sinkt nahezu auf 0, die Stromstärke steigt auf 10 Amp. und mehr. Diese wichtige Erscheinung hat ihre Ursache in der **„gegenelektromotorischen Kraft“** des Motors. Durch die Drehung des Motorankers im magnetischen Felde werden ja auch Induktionsströme erzeugt, die dem eingeleiteten Strome entgegengesetzt sein werden. Je mehr die Tourenzahl des Motors wächst, um so gröfser wird die E.M.K. dieses Gegenstromes und um so mehr wird der Hauptstrom in seiner Stärke geschwächt. Dafs der Motor **thatsächlich** der Sitz dieser gegenelektromotorischen Kraft ist, zeigt auch noch folgender Versuch:

Nachdem der Motor die höchst zulässige Tourenzahl (2000) erreicht hat, unterbreche man plötzlich den dem Motor zugeführten Arbeitsstrom. Das Voltmeter sinkt dann nicht sofort auf 0, sondern zeigt immer noch einige Volts an, deren Zahl erst mit abnehmender Umdrehungszahl des Ankers kleiner wird, bis sie allmählich auf 0 (theoretisch beim Stillstande des Ankers) herabsinkt.

Ein beliebig gewähltes Zahlenbeispiel möge die Verhältnisse noch etwas mehr erläutern. Angenommen, wir hätten einen Serienmotor mit einem Strome von 110 Volts Spannung zu betreiben. Der gesamte

Widerstand im Anker (der Wickelung) und in der äufseren Leitung sei 0,2 Ω. Wird der Motor unter diesen Verhältnissen mit dem Strome beschickt, so ist die in dem Anker auftretende Stromstärke $\frac{110}{0,2} = 550$ Amp., während der Motor als Dynamo nur 40—50 Ampères liefert. Infolgedessen kann, solange der Anker noch still steht, leicht eine so starke Erwärmung hervorgerufen werden, dafs Kollektor und Anker zerstört werden. Erst wenn der Motor mehr und mehr seine normale Tourenzahl erreicht, ist diese Gefahr vorüber. Denn dann tritt ja die gegenelektromotorische Kraft in Thätigkeit. Sie möge auf 60 Volts angewachsen sein. Die Stromstärke ist nur noch

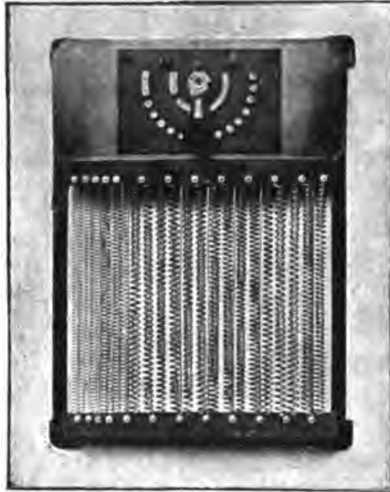


Fig. 114a.

$$\frac{110-60}{0,2} = \frac{50}{0,2} = 250 \text{ Amp.}$$

Steigt die gegenelektromotorische Kraft auf 100 Volts, so ist

$$J = \frac{110-100}{0,2} = \frac{10}{0,2} = 50 \text{ Amp.}$$

Würde der Motor stärker als die Kraftdynamo gebaut sein, so könnte sogar der Fall eintreten, dafs die Gegen-E.M.K. gröfser als 110 V. wird, sagen wir 120 Volts. Dann liefert nicht mehr die Dynamo Strom, sondern der Motor giebt einen



Fig. 114b.

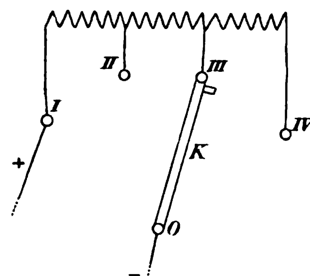


Fig. 114c.

solchen von $\frac{110-120}{0,2} = 50$ Amp. heraus und treibt die Dynamo als Motor an. In Wirklichkeit kann dieser Fall z. B. beim Laden von Accumulatoren eintreten. Man sehe auch das über das Parallelschalten

von Dynamomaschinen Gesagte nach. Meistens ist der Ankerwiderstand noch viel geringer, sagen wir 0,01 Ω; dann ist die Stromstärke ohne eingeschalteten Widerstand bei stillstehendem Motor: $\frac{110}{0,01}$ = **11000 Amp.**

Jedenfalls führen uns alle diese Thatsachen zu dem Ergebnisse, daſs ein Motor nicht mit voller Stromstärke anlaufen darf. Es muſs anfangs Widerstand eingeschaltet sein, der erst allmählich, der wachsenden Tourenzahl des Ankers entsprechend, in „Stufen“ ausgeschaltet wird. Hat der Motor seine volle Tourenzahl erreicht, so wird der Widerstand ganz ausgeschaltet; die gegenelektromotorische Kraft ersetzt ihn vollständig. **Jeder Motor muſs „angelassen“ werden.**

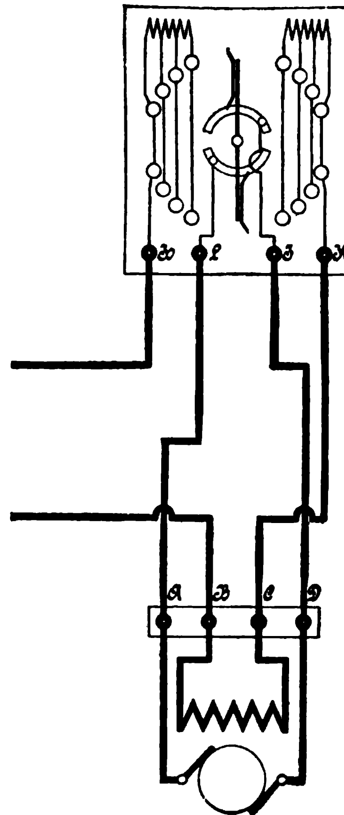


Fig. 115.

Zu der Reversiervorrichtung gesellt sich demgemäſs der „**Anlasser**“. In einfachen Fällen kann man beide getrennt montieren und handhaben. Der Anlasser hat dann gewöhnlich die Formen der Figuren 114a oder 114b. Das Prinzip der Einrichtung erläutert die Fig. 114c. Bei *I* und *O* ist die Stromzuführung. Zwischen den Metallkontakten *I, II, III, IV* sind Drahtrollen von bestimmten Widerständen montiert. Der Kontakthebel *K* ist um *O* drehbar. Steht sein anderes Ende auf *I*, so ist kein Widerstand eingeschaltet. Durch Drehung nach rechts kann nach Belieben mehr oder weniger Widerstand zugeschaltet werden.

Im praktischen Grubenbetriebe ist diese getrennte Bedienung von Reversier- und Anlaſsvorrichtung nicht immer gut durchführbar, da ein Mann schon dadurch vollauf in Anspruch genommen sein würde. Man hat deshalb beide Vorrichtungen zu einer Schaltungsanordnung vereinigt. Dies kann auf verschiedene Weisen geschehen, kommt aber schlieſslich immer auf denselben Grundgedanken hinaus. Wir begnügen uns daher damit, hier die Schaltungsschemata und Apparate einzelner Firmen kurz aufzuführen.

1) **Umkehr-Anlaſswiderstand Type** UW_h **in Verbindung mit Gleichstrom-Hauptstrommotor** der He.-K. (Fig. 115).

Das Anlassen und Umkehren wird hier in einfachster Weise durch einen einzigen Hebel besorgt, der beiderseits mit je zwei Kontaktfingern (ᄀ) versehen ist. Die äufseren schleifen auf den Kontakten, an welche die Widerstände gelegt sind, während die inneren auf zwei halbkreisförmigen Metallsegmenten gleiten, an welche die Zuleitungen zu den Dynamobürsten (durch die Klemmen *L* und *J* bezw. *A* und *D*) führen. Um sich über die Wirkungsweise eingehender zu orientieren, zeichne man sich den Stromverlauf in dieses Schema durch Pfeile ein und nehme zwei Stellungen des Kontakthebels an: die erste von links oben nach rechts unten, die zweite von links unten nach rechts oben. Nimmt man ferner an, dafs der positive Strom bei *H* in die Umkehr-Anlafsvorrichtung eintritt, so durchfliefst er in ersteren Falle die linken oberen Spiralen, geht durch den Kontakt in das obere Metallsegment, von dort nach *J* und *D* in die rechte Bürste der Dynamo, von dieser weiter nach *A* und *L* zu dem unteren Segment und in die Spiralen rechts oben; dann gelangt er über *K* und *C* in die Magnetwickelung und fliefst bei *B* in die Leitung zurück. Bei der zweiten Stellung des Kontakthebels (von links unten nach rechts oben) wird man finden, dafs die Stromrichtung in der Magnetwickelung dieselbe geblieben ist, während sie in dem Anker umgekehrt ist; denn der Strom geht, bei *H* eintretend, nach Durchfliefsung der linken Spiralen jetzt an das untere Segment und von dort über *L* und *A* an die **linke** Strombürste. Die Reversierung ist ermöglicht.

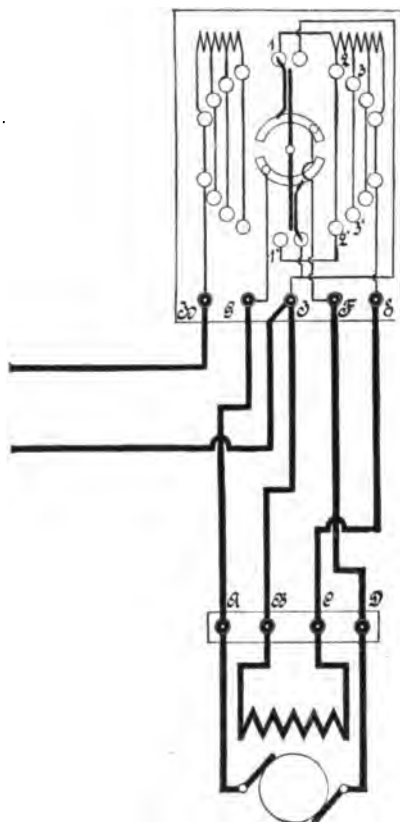


Fig. 116.

2) **Umkehr-Anlafswiderstand Type UW_h der Helios mit Bremsschaltung** (Fig. 116).

Er unterscheidet sich von dem vorigen nur durch eine nach beiden Seiten ausführbare Bremsschaltung.

3) Umsteuerungsapparat mit Kohlenkontakten in Verbindung mit einem Nebenschlufsmotor von S. u. H. (Fig. 117).

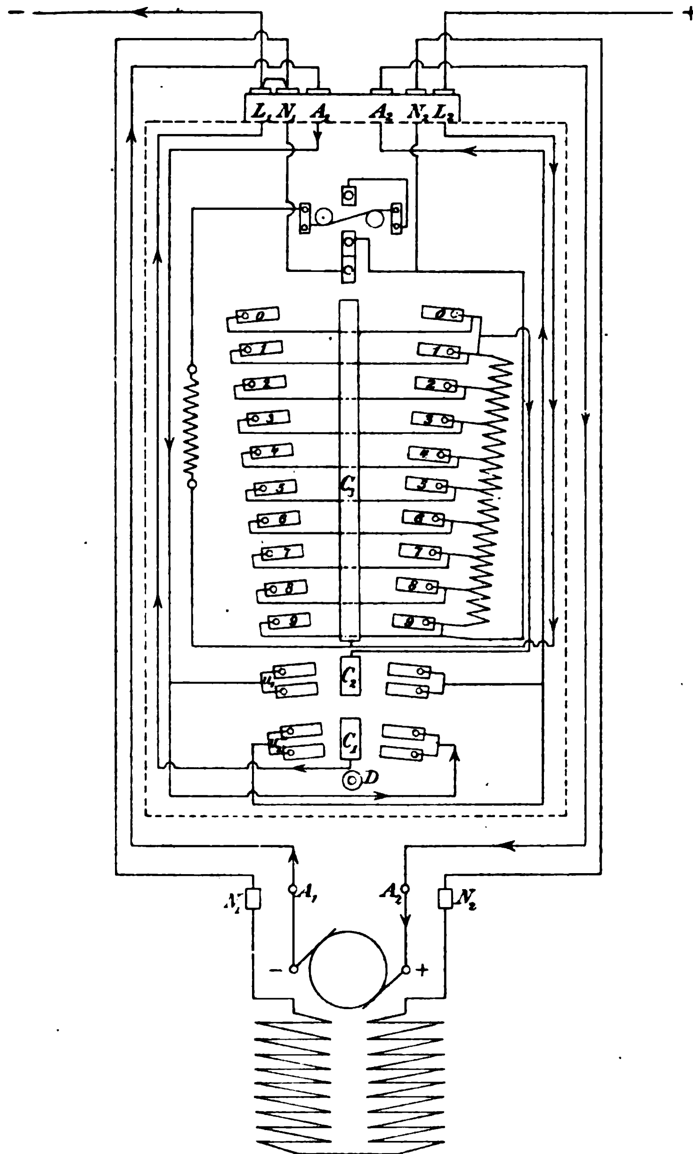


Fig. 117.

Der Apparat wird durch die punktierte Linie begrenzt. Oben befinden sich sechs Klemmen, von denen L_1 und L_2 der Zuführung des Stromes dienen, während $N_1 N_2$ zur Nebenschlufswickelung und $A_1 A_2$

zur Ankerwickelung führen. Um D ist der Steuerhebel drehbar, der hier senkrecht stehend gezeichnet ist. Er trägt auf beiden Seiten (links und rechts) drei Kohlenplatten, zwei (untere) kleinere C_1, C_2 und eine größere C_3. Zu beiden Seiten sind in schräger Stellung Kohlenkontakte (0—9) federnd angeordnet, an welchen gemeinsam die Wider-



Fig. 118.

stände W liegen. Sie bilden die Anlaſsvorrichtung. Die Umsteuerungsvorrichtung wird von den Kontaktpaaren $U_1 U_2$ gebildet. Je nachdem man den Steuerhebel nach links oder rechts hinüberlegt, läuft der Motor in der einen oder der anderen Richtung. Für den

zweiten Fall ist der Ankerstromlauf durch Pfeile bezeichnet. Macht man dies auch für den ersten Fall, so wird man wieder konstatieren können, daſs die Stromrichtung im Anker umgedreht worden ist. Beim Einschalten liegt der Hebel zunächst an U_1, U_2 und 9; es ist aller Widerstand eingeschaltet. Durch weiteres Andrücken werden die Spulen der Reihe nach kurz geschlossen, so daſs, wenn der Hebel an U_1—0 liegt, aller Widerstand ausgeschaltet ist.

Diese Umsteuerungsapparate haben im Grubenbetriebe schon vielfach Verwendung gefunden — z. B. bei Förderhaspeln und Schiebebühnen — und sich durchweg gut bewährt.

4) Umkehr-Anlaſswiderstand Type *Ch* in Verbindung mit Gleichstrom-Hauptstrommotor von He.-K.

Für Bahnmotoren hat man besonders handliche Anlaſswiderstände, sogen. **Kontroller.** Das Innere desselben zeigt uns Fig. 118. Es ist nur der oben auf montierte Hebel vom Führer zu drehen. Der Hebel sitzt nämlich auf einer Kontaktwalze, welche eine Anzahl kupferner Kontaktgleitflächen trägt,

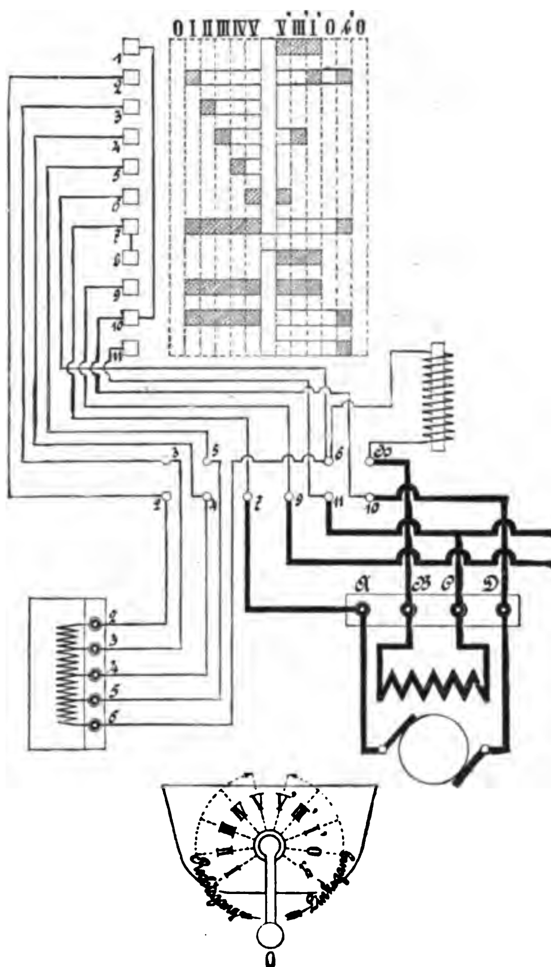


Fig. 119.

die alle um einen Winkel gegeneinander versetzt sind (der dunkel gehaltene Teil rechts). Dadurch können auf ihnen die kupfernen Kontaktfinger (links, hell) gleiten; mit diesen sind die Widerstandspiralen, welche an einer beliebigen Stelle der Lokomotive untergebracht werden können, verbunden. Ein auf der Achse des Kontrollers sitzendes

Rastenrad (Sperrrad) macht die einzelnen Stellungen der Kontrollerwalze dem Bedienenden in der Hand fühlbar. Wie die drei Hauptteile einer elektrischen Lokomotive: Kontroller, Widerstand und Motor mit einander zu verbinden sind, zeigt die Fig. 119. Oben ist die Kontrollerwalze (die Gleitflächen sind schraffiert) nebst den Kontaktfingern 1—11. Links darunter ist der Widerstand (2—6), rechts der Hauptstrommotor und ganz unten der Kontrollerhebel.

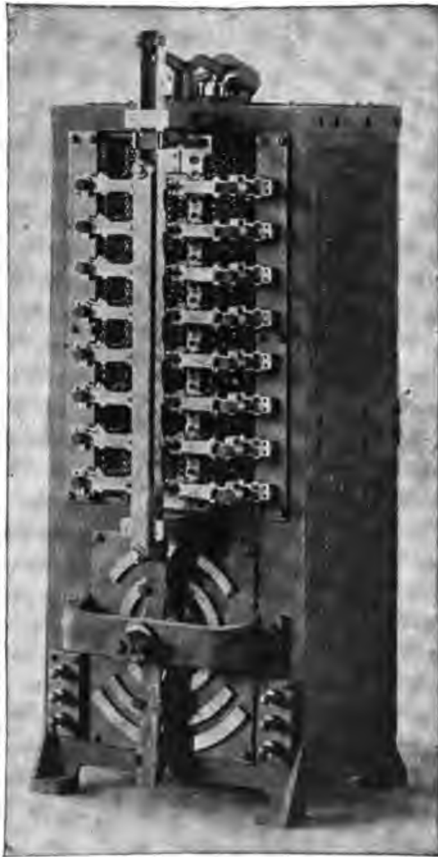


Fig. 120.

5) Selbstthätiger Umkehr-Anlafswiderstand mit Hilfsmotor von Schu. u. Co.

Die äufsere Ansicht dieses ebenfalls im Gruben- und Hüttenbetriebe — bei Aufzügen — schon in Anwendung gekommenen Apparates (z. B. Cleophas-Grube-Zalenze O. S.; königl. Friedrichshütte b. Tarnowitz) zeigt Fig. 120, die Schaltung Fig. 121. Beim Anlassen sind die Widerstände in den Ankerstromkreis des Motors eingeschaltet. Das Ausschalten derselben wird durch einen Hilfsmotor *H* (Fig. 121) bewirkt, der vermittelst einer lösbaren magnetischen Kuppelung und einer Schneckenübersetzung auf eine Zahnstange (13) arbeitet; diese schiebt den Kontaktapparat abwärts und schliefst so die Widerstände nach und nach kurz. Ist völliger Kurzschlufs erreicht, so wird die Ausschaltung des Hilfsmotors selbstthätig bewirkt; der Aufzugsmotor arbeitet dann mit voller Kraft. Über den Stromlauf im Apparate ist das nachstehende von Wichtigkeit: „Wird die Steuerwelle nach rechts gelegt, so schliefst sich der Kohlenausschalter 3, 4 dagegen öffnet sich; gleichzeitig kommt Kontakt 6 mit 7 in Berührung. Der Strom geht nun vom +Pol um die Relaisspule 5, von hier einesteils nach Kohlenkontakt 14, andernteils (im Nebenschlufs) über Kontakt 6, 7, 8, 9,

Schleifbürste 10, Kontakt 11 nach dem mit der magnetischen Kuppelung parallel geschalteten Hilfsmotor *H*, weiter nach Klemme *II* und

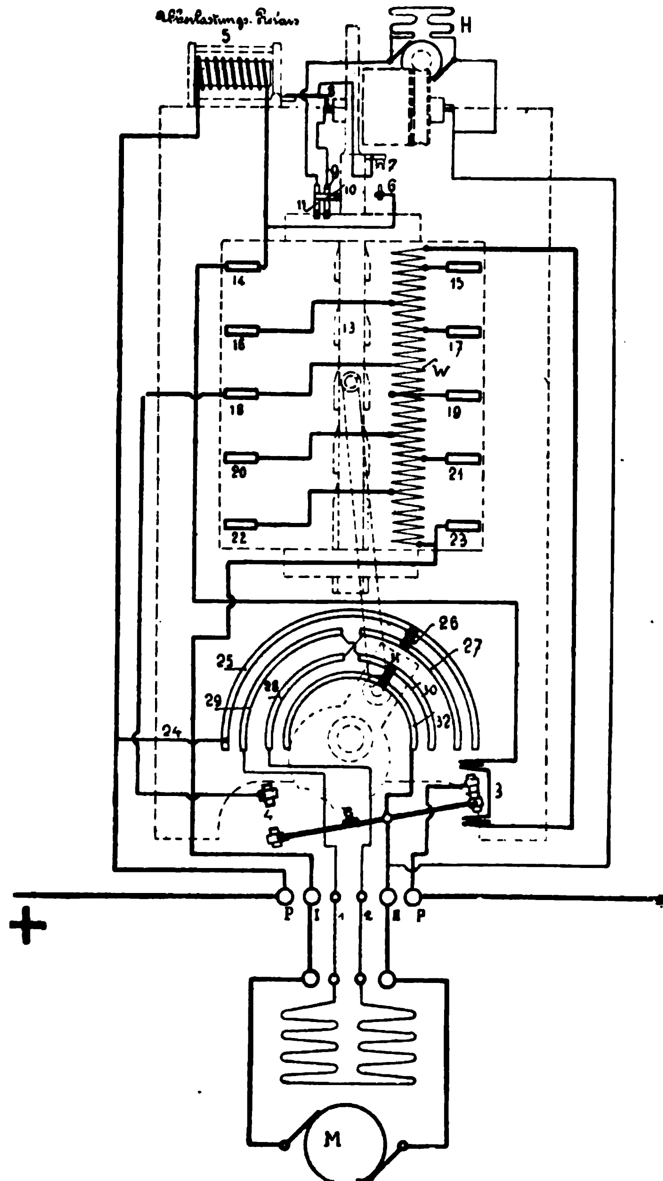


Fig. 121.

über den geschlossenen Kohlenausschalter 3 nach dem —Pol. Hilfsmotor und magnetische Kuppelung treten also in Thätigkeit und

schieben die Zahnstange 13 langsam nach unten, wodurch die Kohlenkontakte 14—23 nach und nach kurz geschlossen werden. Vom +Pol zweigt aufserdem ein Nebenschlufs ab über Leitung 24, Schiene 25, Schleifbürste 26, Kontaktschienen 27 und 28 nach Klemme 2, weiter um die Magnete des Motors *M* nach Klemme 1, über Kontaktschienen 29, 30, Schleifbürste 31 nach Kontaktschiene 32 und Klemme *II*, endlich über Kohlenausschalter 3 nach dem —Pol. Der Hauptstrom dagegen geht vom Kohlenkontakt 14 durch Widerstand *W*, über Kohlenkontakt 23 nach Klemme *II* und über Kohlenausschalter 3 nach dem —Pol. Sobald nun der Widerstand *W* durch die Kohlenkontakte kurz geschlossen ist, verläfst die Schleifbürste 10 die Kontakte 9 und 11; der Stromkreis des Hilfsmotors und der magnetischen Kuppelung ist damit unterbrochen, und die Bewegung der Zahnstange hört auf. — Beim Ausschalten wird die Steuerwelle in die Mittelstellung zurückgedreht und damit die Zahnstange hochgeschoben. Gleichzeitig werden die Kontakte 6, 7, die Kohlenkontakte 14—23 und der Kohlenausschalter 3 geöffnet, dagegen der Kohlenkontakt 4 geschlossen. Letzteres bewirkt Stromschlufs von Klemme *II* über Kohlenausschalter 4, einen Teil des Widerstandes *W* nach Kohlenkontakt 23, weiter über Klemme *I* durch den Anker des Motors nach Klemme *II* zurück. **Der Motor arbeitet also als Stromerzeuger auf einen Teil des Widerstandes *W* und wirkt dadurch als Bremse.** — Wird die Steuerwelle nach links umgelegt, so wiederholt sich dasselbe Spiel mit dem Unterschiede, dafs die Magnete des Motors *M* in umgekehrter Richtung vom Strom durchflossen werden, der Anker sich also in entgegengesetztem Sinne dreht."

Die Firma S. u. H. baut selbstthätige Regulatoren mit Kohlenkontakten in Verbindung mit einem Zentrifugalregulator.

Zu der Beschaffung eines dieser Reversierapparate wird man nur dann schreiten, wenn es sich um Motoren handelt, deren Drehsinn während des Betriebes häufig und schnell geändert werden soll; dies ist im allgemeinen bei Motoren für elektrische Aufzüge (Fördermaschinen etc.), Grubenbahnen etc. der Fall. Andere Motoren haben dagegen nur in einer Richtung zu laufen, wie elektrisch angetriebene Ventilatoren, Bohrmaschinen etc. Bei ihnen ist, wie bei **allen**, nur noch die Forderung zu erfüllen, dafs es möglich sei, die **Tourenzahl innerhalb bestimmter Grenzen zu ändern.** Wie das bei den speziellen Betrieben in verschiedener Weise am zweckmäfsigsten erreicht wird, soll später (12. Vortrag) auseinandergesetzt werden; wir wollen hier nur die allgemeinen Gesichtspunkte zusammenstellen.

Eine Veränderung der Tourenzahl der von Gleichstrommotoren angetriebenen Maschinen kann bewirkt werden:

I. **Auf mechanischem Wege**, indem der Elektromotor seine Umdrehungszahl beibehält:

Durch Veränderung der Übersetzung, sei es nun, daſs diese durch Zahnradvorgelege oder durch Riemen- bezw. Seilscheiben (Stufenscheiben) bewirkt wird. Diese Art ist naturgemäſs etwas umständlich, da sie zuweilen zeitraubende mechanische Eingriffe erfordert.

II. **Auf elektrischem Wege, indem man die Tourenzahl des Elektromotors selbst ändert.**

1) Man verändert die Polzahl des Motors. Hat dieser z. B. ursprünglich vier Pole, so lassen sich diese durch eine besondere Schaltung zu je zwei vereinigen; der Motor macht dann die **doppelte** Anzahl von Umdrehungen. Es ist offenbar, daſs auf diese Weise die Tourenzahl nur sprungweise geändert werden kann. Ist der Motor von vornherein nur zweipolig, so ist das Verfahren ganz unmöglich.

2) Man ändert die Anzahl der Ankerwickelungen. Man versieht zu dem Zwecke den Motor mit zwei Kollektoren; zu jedem derselben gehört eine Ankerwickelung. Wir wollen annehmen, beide seien gleich groſs ausgeführt. Macht der Motor bei Einschaltung einer Wickelung U Umdrehungen, so macht er bei Parallelschaltung beider (gleichen) Wickelungen ebenfalls U und bei Hintereinanderschaltung $\frac{1}{2} U$. Daſs die **Leistung** des Motors im zweiten Falle gleichfalls nur halb so groſs als im ersten Falle ist, braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden*).

3) Es wird Widerstand in den Anker, in die Magnetwickelung oder parallel zu dieser geschaltet. Änderungen in der Gröſse dieses Widerstandes (mit Hilfe von Widerstandsstufen) haben auch Tourenänderungen zur Folge. Diese Methode ist zur Zeit noch die bei weitem häufigste und beliebteste. Sie muſs für die Motorarten modifiziert werden, indem sie sich den Eigentümlichkeiten einer jeden derselben anzubequemen hat. Wir stellen daher hier kurz die Eigenschaften der drei Motoren zusammen.

a) **Serienmotor.** Bei ihm giebt es nur einen einzigen Stromkreis, da Anker- und Magnetwickelung in Serie liegen. Er entwickelt, da der gesamte Arbeitsstrom auch in die Magnetwickelung geht, selbst in den ungünstigsten Fällen eine **groſse Anzugskraft**, d. h. er zieht leicht an. Freilich ist seine Umdrehungszahl in hohem Grade von der Belastung abhängig; sie steht im umgekehrten Verhältnisse zu dieser; ja bei Leerlauf „geht" der Motor sogar „durch". Diesen Eigenschaften entsprechend wird der Motor auch verwendet. Bei **Pumpen** und **Ventilatoren** ist er brauchbar, da bei diesen die Belastung meistens gleichbleibend ist. Bei **elektrischen Grubenbahnen** ist es erwünscht, daſs

*) Ähnlich kann man verfahren, wenn **zwei** Motoren dieselbe Maschine treiben (s. Seite 136).

der Motor je nach der gröfseren oder geringeren Belastung langsamer oder schneller läuft und dafs er vor allem **kräftig anzieht.** Deshalb sind alle **Grubenlokomotiven mit Hauptstrommotoren ausgerüstet.**

b) **Nebenschlufsmotor.** Er hat zwei Stromkreise (Anker- und Nebenschlufsstromkreis). Er behält gleich der Nebenschlufsmaschine bei verschiedener Belastung seine Tourenzahl annähernd bei, selbst bei Leerlauf. Hierdurch unterscheidet er sich vorteilhaft von dem Serienmotor; allerdings zieht er mit Last schwerer an, als der Hauptstrommotor. Man nimmt daher Nebenschlufsmotoren überall dort, wo gleichbleibende Umdrehungszahl erwünscht ist. Sie sind fast überall verwendbar: für Pumpen, Ventilatoren, Bohrmaschinen, Fördermaschinen, ja in bestimmten Fällen auch für Lokomotiven (über Tage).

c) **Kompoundmotor.** Da dieser gewissermafsen eine Vereinigung der beiden vorigen ist, so hat er auch mit beiden bestimmte Eigenschaften gemein: seine Umdrehungszahl ist bei wechselnder Belastung nicht konstant; er läuft aber kräftiger an, als der Nebenschlufsmotor; auch geht er bei Leerlauf nicht durch.

Aus dem Gesagten geht hervor, dafs **der Nebenschlufsmotor von allen dreien die häufigste Verwendung findet.**

Die **Regulierung der Tourenzahl** erfolgt nun:

a) **beim Serienmotor:**

α) Durch Widerstandseinschaltung in den Hauptstromkreis. Die Tourenzahl nimmt mit wachsendem Widerstande ab; man darf aber nicht übersehen, dafs hierbei ein grofser Teil des Stromes in Wärme umgesetzt wird, mithin verloren geht. Das Verfahren wird bei Grubenlokomotiven benutzt (Fig. 119, auch Fig. 115).

β) Durch Parallelschalten von Widerstand zur Hauptstrommagnetwickelung und dadurch bewirkte Veränderung des Erregerstromes und des magnetischen Feldes. Dadurch wird die Umdrehungszahl gesteigert und kann leicht auf eine bestimmte Gröfse bei gleichbleibender Belastung eingestellt werden, was für Pumpen und Ventilatoren gewünscht wird (s. Fig. 170, S. 152).

γ) Dadurch, dafs man die Erregerwickelung selbst genau wie einen Regulierwiderstand mit beliebig vielen Stufen einrichtet und so ebenfalls Änderungen der Ampèrewindungen erreicht.

Die Verfahren β) und γ) sind mit nur geringen Energieverlusten verbunden; β) ist ein Mittelding zwischen α) und γ);

b) **beim Nebenschlufsmotor:**

α) Durch Einschalten von Widerstand vor den Anker. Es wird dadurch die Umdrehungszahl **verringert.** Es treten wieder, wie beim Hauptstrommotor, bedeutende Energieverluste auf (s. Fig. 169 rechts).

β) Durch Einschaltung von Widerstand in die Magnetwickelung. Das magnetische Feld wird dadurch in seiner Stärke verringert; der Motoranker mufs demnach, um die erforderliche gegenelektromotorische Kraft zu entwickeln, eine gröfsere Zahl von Umdrehungen machen. Man kann auch, wie beim Hauptstrommotor (*γ*), die Wickelung selbst als Stufenwiderstand ausbilden oder mehrere Wickelungen parallel resp. hintereinander schaltbar anordnen (s. Fig. 169 und Fig. 174 links).

Ein Beispiel für die Regulierung eines Nebenschlufsmotors liefert Fig. 122 (He.-K.). Die zwischen *E* und *F* besonders montierte Wider-

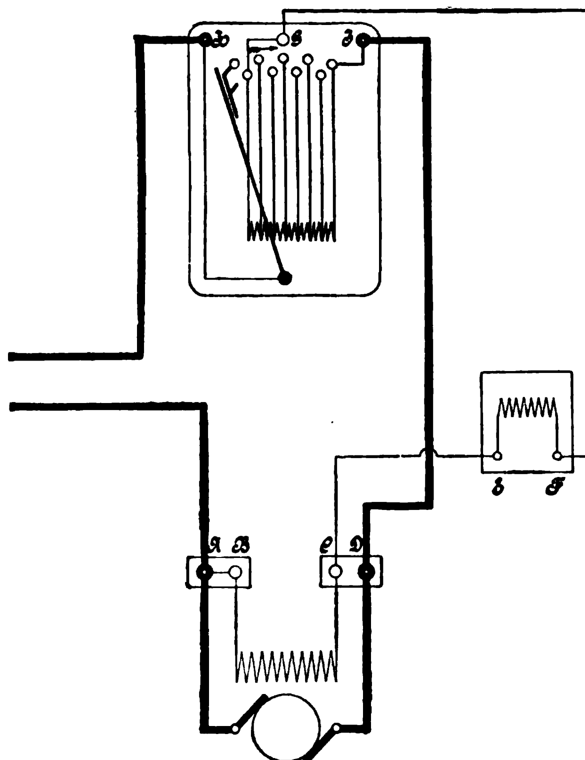


Fig. 122.

standsspule dient ausschliefslich dazu, die Umdrehungszahl des Motors auf die bestimmte Gröfse zu bringen; sie ist nicht immer notwendig. Die Steigerung der Tourenzahl des Motors erfolgt durch Drehen des Hebels in der Pfeilrichtung.

In manchen Fällen ist ein gröfseres Anzugsvermögen nötig, als es ein einfacher Nebenschlufsmotor besitzt; andererseits soll während des

normalen Betriebes die Umdrehungszahl konstant gehalten werden. Es würde sich dazu weder der Nebenschlufs- noch der Serienmotor, auch nicht der Kompoundmotor eignen. Da hilft man sich denn dadurch, dafs man auf den Nebenschlufsmotor noch eine Kompoundwickelung bringt, die **nur während der Anlaufsperiode** eingeschaltet, dann aber dauernd ausgeschaltet wird. Eine Vorrichtung dieser Art, wie die

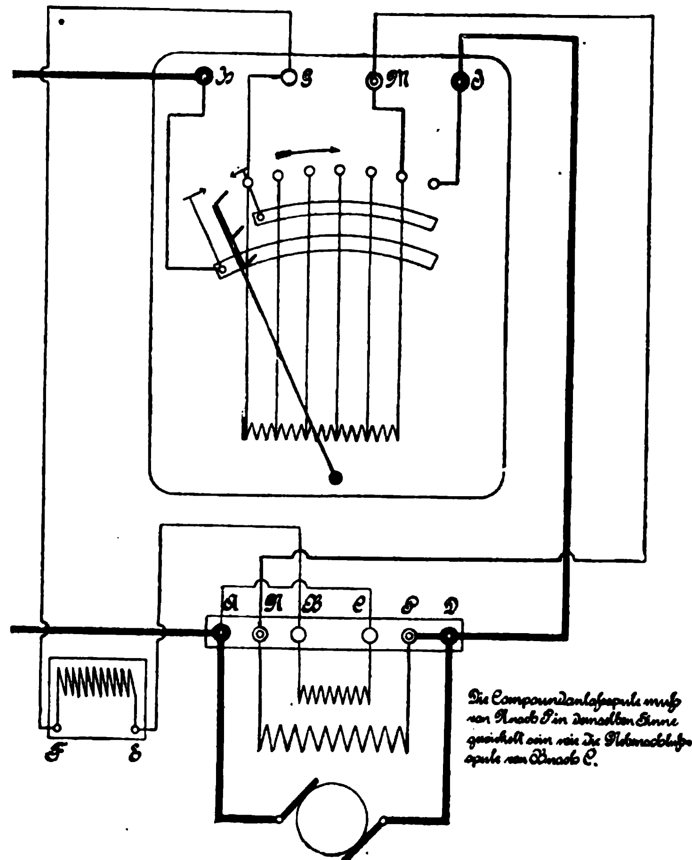


Fig. 123.

Fig. 123 (He.-K.) wiedergiebt, wird bei Motoren für Seilbahnen, Zerkleinerungsmaschinen, Kohlenwaschmaschinen (Separationen) etc. angewendet.

Alle besprochenen Anlafsvorrichtungen hatten in erster Linie den Zweck, den Motoranker vor zu starkem Strome zu schützen, indem man ihm Zeit läfst, seine gegenelektromotorische Kraft zu entwickeln:

diese ist dann selbst eine Art Widerstand; es ist daher der Anlafswiderstand während des vollen Betriebes ganz ausgeschaltet. Nun kann es vorkommen, dafs die Stromlieferung der Centrale aus irgend welchen Gründen eingestellt wird: der Motor bleibt stehen und mufs sofort auch **wirklich** (durch Herauswerfen des Schalthebels von seiten des Arbeiters) **ausgeschaltet** werden. Würde dies nicht gemacht werden, so würde sich bei wieder aufgenommener Stromlieferung, da ja der Anlafswiderstand ausgeschaltet wäre, der Strom mit voller Span-

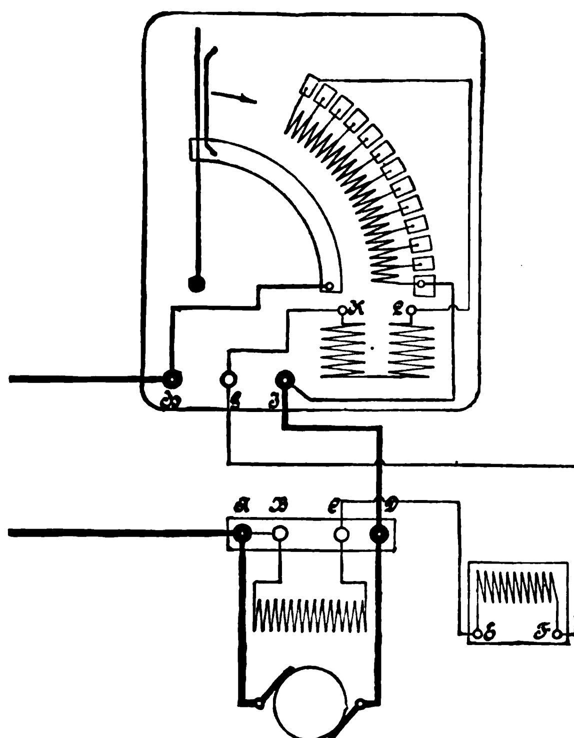


Fig. 124.

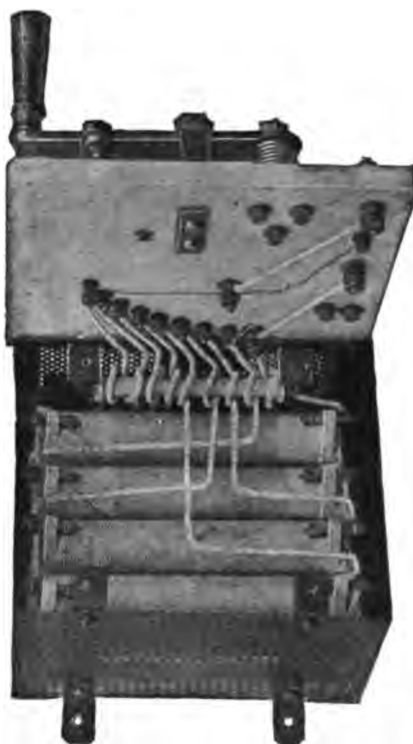


Fig. 125.

nung in den ruhenden Anker stürzen und diesen verbrennen, es sei denn, dafs die Bleisicherung, die natürlich nie fehlen darf, rechtzeitig durchschmilzt. Das Durchbrennen des Ankers kann beispielsweise bei einer elektrisch betriebenen Ventilatoranlage eintreten, die, wie wir sehen werden, im allgemeinen keiner beständigen Wartung bedarf. Diese Gefahr wird bei Anwendung eines **Anlafswiderstandes der He.-E.-A.-G. mit automatischer Minimalauslösung** beseitigt (Fig. 124—126). In dem Nebenschlusse befindet sich noch die Wickelung eines Elektro-

magneten KL (Fig. 124). Der Kontakthebel (links) ist mit einem zu dem Magneten passenden Anker versehen und wird, nachdem das Anlassen durch Drehen in der Pfeilrichtung bewerkstelligt worden ist, von dem Magneten in der Endstellung festgehalten, während eine Feder bestrebt ist, ihn in die Ausschaltestellung zurückzubringen. Diese Feder tritt in Thätigkeit, sobald der Elektromagnet stromlos wird. Dies kann, da ja der Magnet im Nebenschlusse liegt, sowohl bei Unterbrechung des Gesamtstromes, als auch des Stromes in der Nebenschlufsspule geschehen. Die Widerstandsdrähte sind, wie das jetzt gewöhnlich ist, auf Porzellanrollen gewickelt (Fig. 125). Die Aufsenansicht nebst Skizze der Verbindungen mit dem Motor ist aus Fig. 126 ersichtlich.

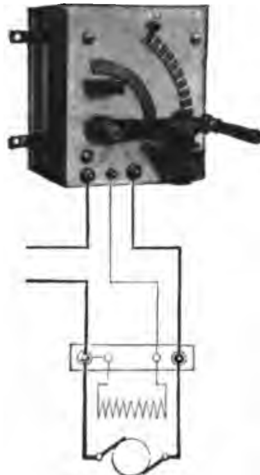


Fig. 126.

Wir müssen an dieser Stelle, der Vollständigkeit halber, noch der „Flüssigkeitsanlasser“ gedenken, behalten uns ihre nähere Beschreibung und Verwendung aber für die Drehstrommotoren vor.

Zwölfter Vortrag.

Die Gleichstrommotoren im Bergbaubetriebe.

Wir hatten im letzten Vortrage bereits der Eigenschaften der Gleichstrommotoren und ihrer darauf sich gründenden Verwendbarkeit für den Grubenbetrieb gedacht. Es soll nun unsere Aufgabe sein, an einigen Beispielen die Art und Weise der Ausführung näher zu erläutern.

1) **Die elektrische Grubenlokomotive.**

Sie ist diejenige Maschine, für deren Antrieb die elektrische Energie zuerst in der Grube verwendet wurde. Jede Lokomotive dieser Art hat vier wesentliche Bestandteile: den **Stromabnehmer**, den **Kontroller**, den dazu gehörigen **Umkehranlafswiderstand** und den **Motor**, resp. die **Motoren.**

Der Stromabnehmer ist je nach den Verhältnissen und seinem Fabrikationsursprunge verschiedenartig gestaltet. Die Fig. 127 zeigt den sogenannten **Parallelogrammstromabnehmer** (Schu.-N.) für Gruben-

lokomotiven. Er läfst bedeutende Schwankungen der Höhe des Fahrdrahtes (Oberleitung) zu, ohne dafs der Druck, mit dem er gegen diesen schleift, geringer ist. Aufserdem gestattet er eine sehr schnelle Änderung der Fahrtrichtung. Andere Formen des Apparates werden wir in den folgenden Figuren kennen lernen.



Fig. 127.

Der Kontroller ist gewöhnlich dem der elektrischen Strafsenbahnen ähnlich gebaut. Seine Einrichtung ist bereits durch die Fig. 118 und 119 erläutert worden. Er ist neben einer meistens mechanisch zu bethätigenden Bremse der einzige vom Führer zu handhabende Apparat. Man baut ihn vor oder neben dem Sitze des Bedienungsmannes ein.

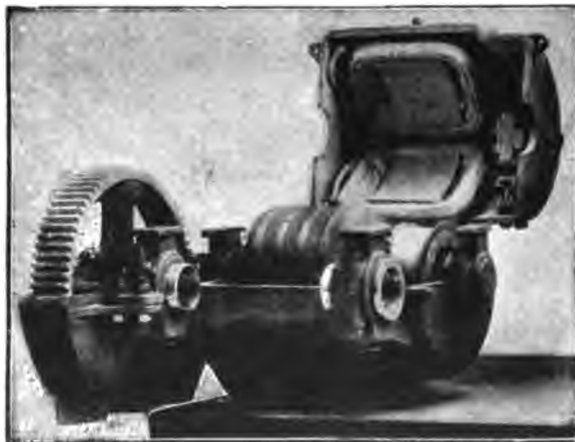


Fig. 128.

Der Motor ist, wie es ja die in der Regel mit Feuchtigkeit und Staub reichlich geschwängerte Grubenluft verlangt, als **„Kapselmotor“** ausgebildet, d. h. er ist luft-, staub- und wasserdicht in ein eisernes Gehäuse eingebaut, das gleichzeitig seine Feldmagnete in Form angegossener bezw. angeschraubter Polstücke bildet (Fig. 128, Schu.-N.). Da die elektrischen Motoren eine sehr hohe Tourenzahl haben, ist ein Zahnradvorgelege erforderlich; das gröfsere Zahnrad sitzt auf der

Lokomotivachse (Fig. 129). Man kann entweder einen Motor oder auch zwei solche für eine Lokomotive montieren. S. u. H. empfehlen, in einer zunächst noch kleinen aber entwickelungsfähigen Grubenanlage nicht kleine Lokomotiven mit zwei entsprechenden Motoren zu wählen, sondern Lokomotiven von gröfserer Bauart, die aber vorläufig mit nur einem Motor ausgerüstet sind, und den zweiten Motor erst dann hinzuzufügen und so die Leistungsfähigkeit zu steigern, wenn die Anforderungen an die Zugkraft bedeutend wachsen.

In der gröfseren Zahl vorkommender Fälle wird man die Zuleitung des Stromes zu der elektrischen Lokomotive in der Weise vornehmen

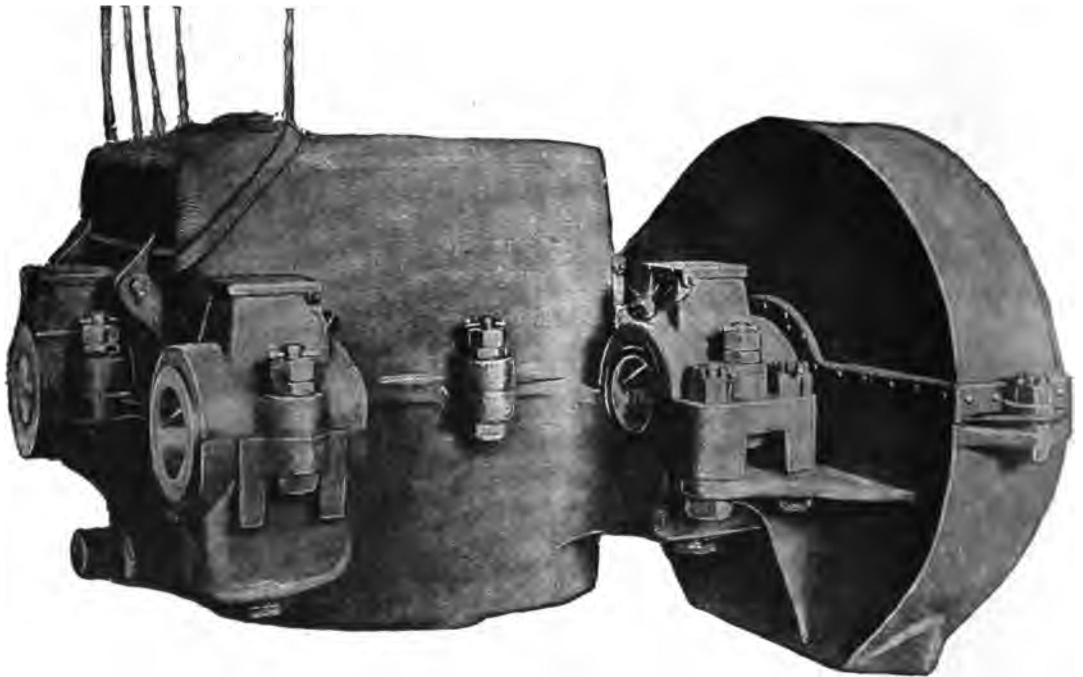


Fig. 129.

dafs in den Strecken an der Firste (gegen diese isoliert) ein blanker Kupferdraht von genügend grofsem Querschnitte verlegt wird, an dem der Stromabnehmer entlang schleift; die Rückleitung erfolgt durch das eiserne Gestell der Lokomotive (an das die eine Bürste des Ankers gelegt wird), die Räder und die Schienen, die zweckentsprechend unter sich leitend durch Kupferdrähte verbunden sind (Fig. 130 und 131).

Die Lokomotive Fig. 131 Un.-B. besitzt eine Motorenleistung von 100 PS., eine Zugkraft im Haken von 2500 kg bei 2,5—3 m sekundlicher

Fahrgeschwindigkeit und einem Dienstgewichte von 18000 kg. Sie ist für eine Schienenspurweite von 700 mm gebaut. Für schwere Züge und Stollenbetrieb ist die Doppelmaschine Fig. 132 bestimmt. Für kleine Leistungen (9 PS.) eignet sich dagegen die Grubenlokomotive (Fig. 133, Schu.-N.) im Steinkohlenbergwerk „Rheinpreufsen" bei Homberg a. Rh. Noch anders ist der Stromabnehmer der Lokomotive Fig. 134 beschaffen. Bei der Fahrt nach rechts wird der linke Teil und umgekehrt der rechte an den Fahrdraht gelegt. Zugmaschinen (von Schu.-N.) dieser Art sind in der Lythandragrube bei Morgenroth O. S. im Be-



Fig. 130.
Elektrische Zechenbahn, Esch sur Alzette. Schuckert u. Co.

triebe. Jede Maschine ist mit einem Motor ausgestattet; ihre Leistung beträgt 14 PS., die Zugkraft an den Laufrädern ca. 190 kg bei 4 m Geschwindigkeit pro Sekunde und einem Eigengewicht von 3600 kg.

Ist eine Rückleitung des Stromes durch die Schienen wegen zu grofser Feuchtigkeit der Streckensohle, Blähungen derselben etc. nicht angängig *), so ist ein zweiter Fahrdraht zu ziehen (Fig. 135). Die so konstruierte Grubenlokomotive mit isolierter Rückleitung im Falck-

*) Dasselbe gilt auch, wenn aufser den Lokomotiven noch andere Motoren an das Netz angeschlossen sind.

schen Steinkohlenbergwerk Bockwa bei Zwickau i. S. (7 PS. Leistung) trägt auf der Plattform ihres Wagengestelles einen Elektromotor, dessen Achse in der Richtung der Geleise liegt und am vorderen Ende mit

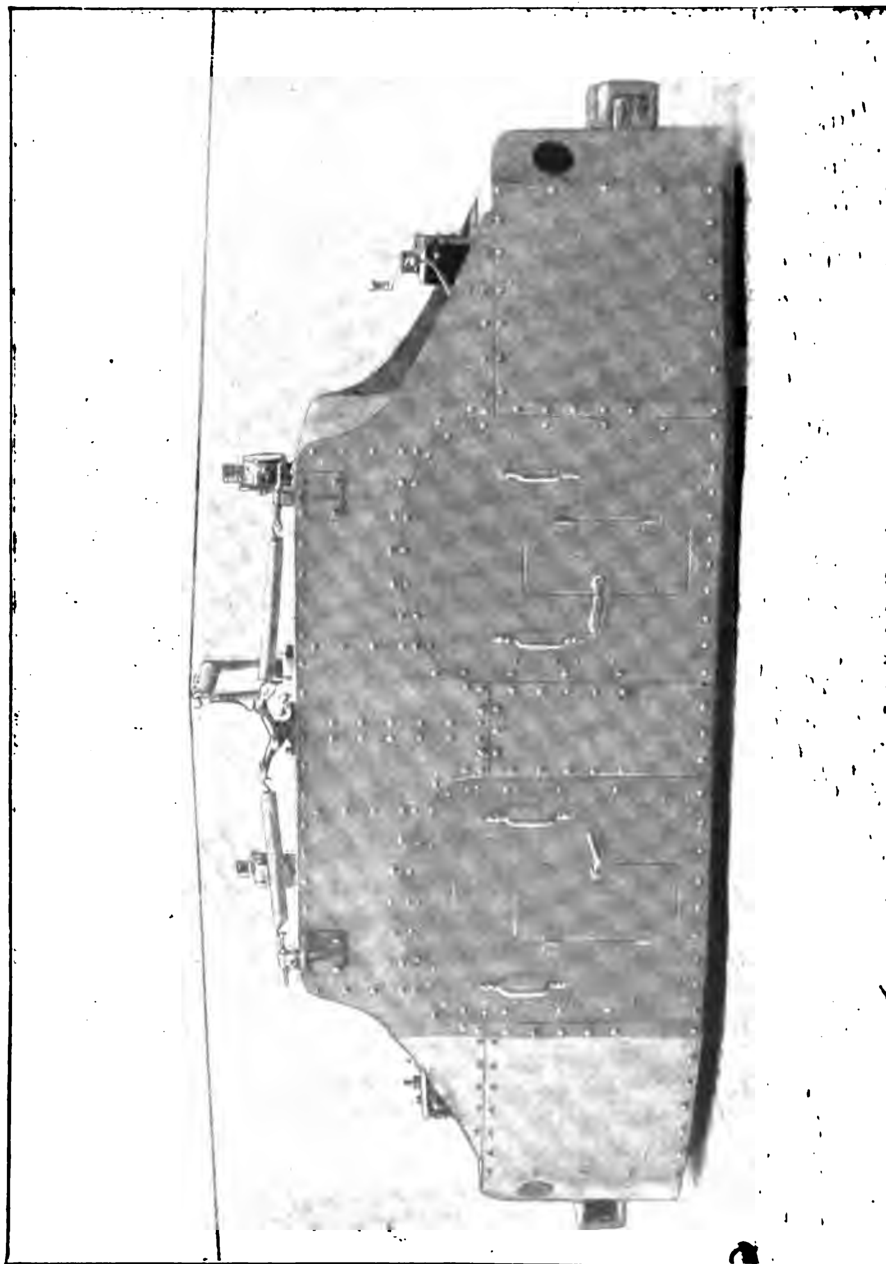


Fig. 131. Grubenlokomotive der Union

einem kleinen Keilrad versehen ist. In dieses greift wieder ein grofses Keilrad, das auf einer Schneckenwelle sitzt, deren Schnecken mittels

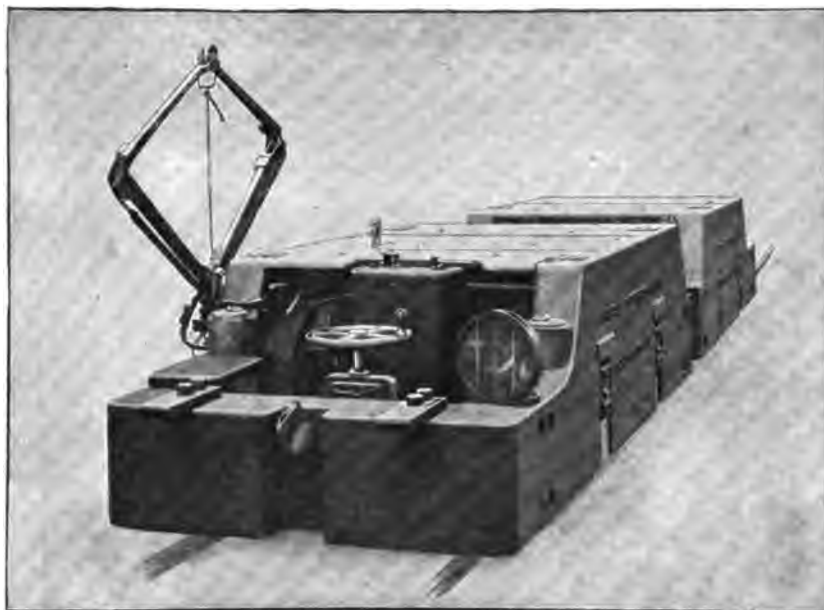


Fig. 132.
Union-Lokomotive.



Fig. 133.



Fig. 134.

Schneckenrädern die beiden Laufachsen antreiben. Der Umkehranlafswiderstand befindet sich hinter dem Elektromotor auf der Plattform

des Wagens; es tritt aus dem ganzen Schutzblechkasten nur der Kontakthebel (Anlafskurbel) hervor, den der hinten auf der Lokomotive sitzende Führer beständig in der Hand hat. Die beiden Zuleitungen zum Motor sind an zwei Stahlrohre angeschlossen, die unten mit kräftigen Spiralfedern, oben mit Bügeln für drehbare Kontaktrollen versehen sind.

Will man sogar von der Zuleitung des elektrischen Stromes und damit von der ganzen immerhin mit Zeit und Kostenaufwand ver-

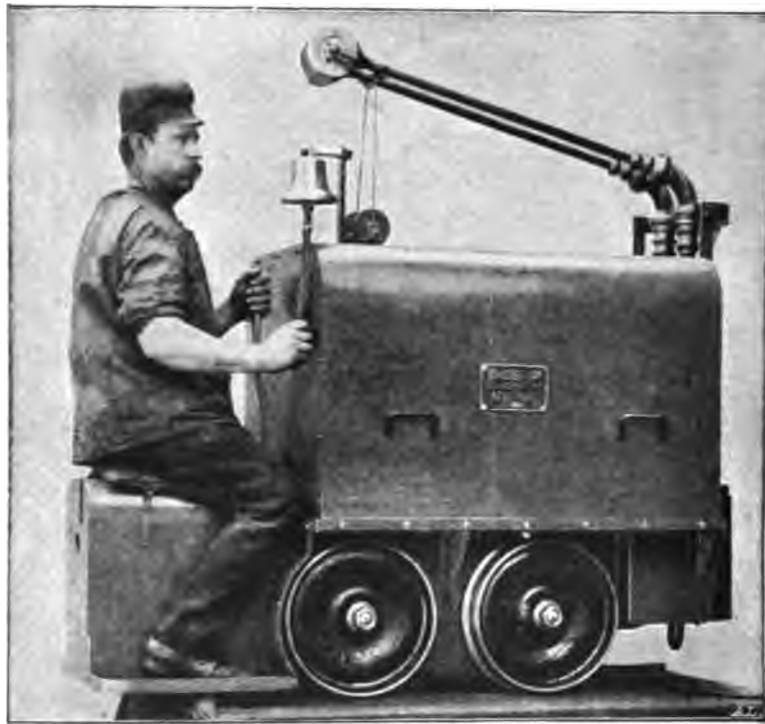


Fig. 135.

knüpften Legung der Oberleitung befreit sein, so nimmt man seine Zuflucht zu den sogen. Akkumulatorlokomotiven. Die Lokomotive hat dann zwar das ganze Gewicht der Akkumulatoren entweder in einem besonderen „Akkumulatoren-Tender“ (Fig. 136) oder, wie das neuerdings geschieht, in einem Aufbau (Fig. 137) mitzuschleppen, büfst aber den Vorzug der elektrischen Lokomotivförderung, Kurven mit Leichtigkeit zu bewältigen, nicht ein. Man sehe die Fig. 137, welche die Lokomotive in dem Augenblicke darstellt, wo sie eine Kurve von 5 m

Radius befährt. Auch beim Grubenbetriebe über Tage kann eine Akkumulatorenlokomotive recht nützlich, ja in manchen Fällen gar nicht

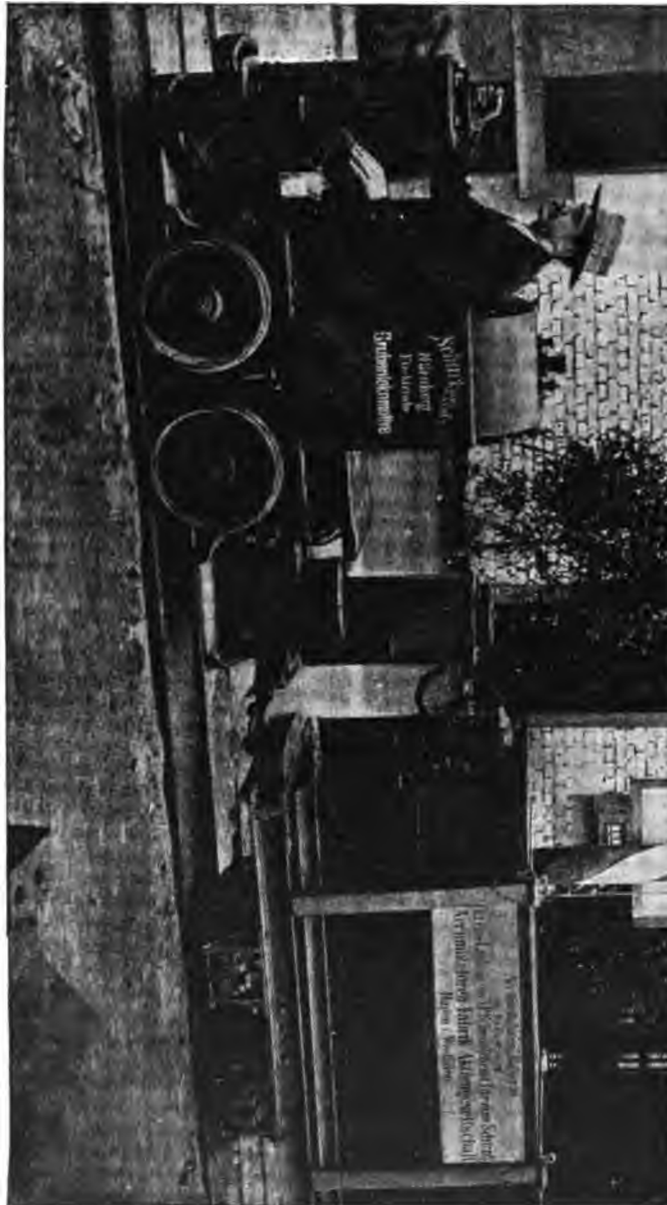


Fig. 136.
Elektrische Grubenlokomotive mit Akkumulatoren-Tender auf Zeche Vereinigter Bonifacius-Kray. (Schuckert.)

zu entbehren sein, z. B. dann nicht, wenn der Lokomotive die Aufgabe zufällt, die Wagen der Staatsbahn auf gröfsere Entfernung vom eigent-

lichen Grubengeleise zu rangieren. Im übrigen gestaltet sich der Betrieb der Lokomotive Fig. 136 (4 PS. Leistung) so, dafs zwei Akkumulatorenbatterien (jede zu 40 Zellen) vorhanden sind; während die

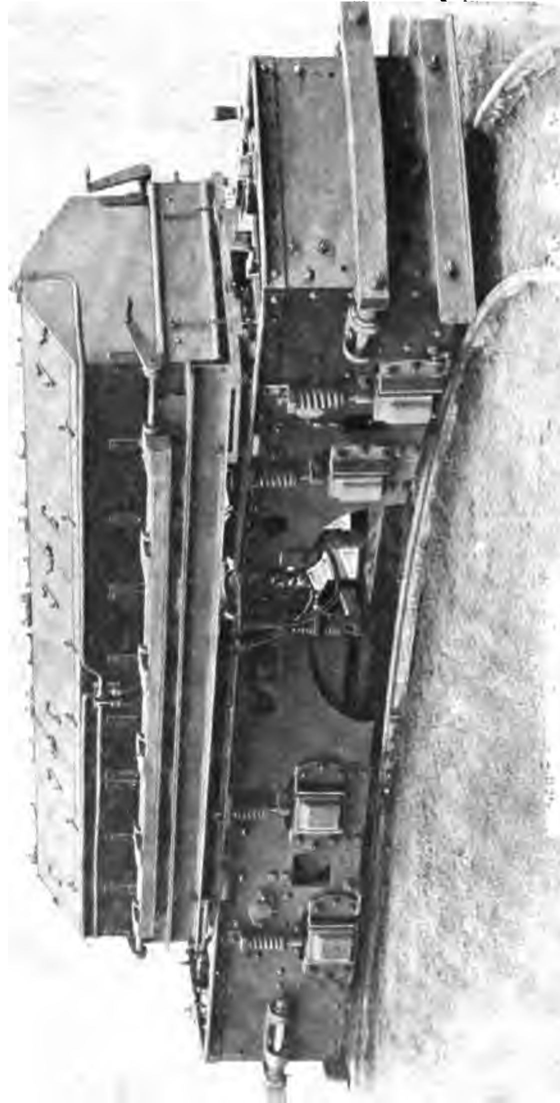


Fig. 137.

Akkumulatorenlokomotive der Kohlenbergwerke Vereinigter Bonifacius zu Kray-Gelsenkirchen. (12 PS. bei zwei Motoren; Zugkraft ca. 300 kg an den Laufrädern bei 2,5 m Geschwindigkeit pro Sek, Eigengewicht 6000 kg.) Schu.-N.

eine den Betriebsstrom hergiebt, wird die andere geladen. Der angebrachte Umschalter schaltet die Akkumulatorenbatterie entweder in zwei Reihen parallel oder in eine Reihe hintereinander; dadurch wird

im ersten Falle eine Geschwindigkeit von 75 m, im zweiten Falle von 150 m in der Minute erzielt.

Um die Lokomotiven jederzeit den verschiedenen, im Bergbaubetriebe vorkommenden Spurweiten (300—1000 mm) anpassen zu können, sind die Rahmen der von S. u. H. gebauten Lokomotiven so ausgebildet, dafs ohne weiteres eine beliebige Veränderung der einzelnen Lokomotivtypen stattfinden kann. Wir geben hier eine den „Mitteilungen" dieser Firma entnommene Zusammenstellung der Typen und Abmessungen der „normalen" Grubenlokomotiven wieder.

Typen und Abmessungen der normalen Grubenlokomotiven von Siemens u. Halske.

Lokomotivtype	Motoren: Zahl	Motoren: Gesamtleistung in PS. bei 500 Volts: normal	Motoren: Gesamtleistung in PS. bei 500 Volts: maximal	Geschwindigkeit im Mittel: m p. Sek.	Geschwindigkeit im Mittel: km p. Std.	Raddruck maximal in kg	Totales Lokomotivgewicht in kg	Zugkraft an den Rädern in kg: normal	Zugkraft an den Rädern in kg: maximal	Minimalspurweite in mm	Radstand in mm	Laufraddurchmesser mm
1 LG_1	1	4,5	7	3,5	13	575	2000	100	180	450	710	650
2 LG_1	2	9	14	3,5	13	575	2300	200	360	450	710	650
1 LG_2	1	9	12	3,5	13	950	3500	200	350	450	710	650
2 LG_2	2	18	24	3,5	13	950	3800	400	700	450	710	650
1 LG_3	1	19	31	3,5	13	1750	6500	400	700	560	900	650
2 LG_3	2	38	62	3,5	13	1750	7000	800	1400	560	900	650
1 LG_4	1	28	46	3,5	13	2500	9500	600	1000	700	900	650
2 LG_4	2	56	92	3,5	13	2500	10000	1200	1200	700	900	650
1 LG_5	1	19	33	3,5	13	2000	7300	400	800	900	1100	750
2 LG_5	2	38	66	3,5	13	2000	8000	800	1600	900	1100	750
1 LG_6	1	25	37	4,2	15	2000	7300	400	800	900	1100	750
2 LG_6	2	50	74	4,2	15	2000	8000	800	1600	900	1100	750
1 LG_7	1	24	42	3	11	3000	11200	550	1200	1000	1100	750
2 LG_7	2	48	84	3	11	3000	12000	1100	2400	1000	1100	750
1 LG_9	1	32	65	3	11	4000	15000	700	1600	1000	1100	750
2 LG_9	2	64	130	3	11	4000	16000	1400	3200	1000	1100	750
1 LG_8	1	32	60	4,2	15	3000	11200	550	1200	1000	1100	750
2 LG_8	2	64	120	4,2	15	3000	12000	1100	2400	1000	1100	750
1 LG_{10}	1	41	71	4,2	15	4000	15000	700	1600	1000	1100	750
2 LG_{10}	2	82	142	4,2	15	4000	16000	1400	3200	1000	1100	750

Als Spannung ist die meist übliche von 500 Volts angenommen. Fig. 138 zeigt uns eine solche Lokomotive im Betriebe.

Für die Grubenlokomotiven werden gewöhnlich Hauptstrommotoren verwendet.

2) Elektrisch betriebene Pumpen.

Diese Art des elektrischen Antriebes erfreut sich in den letzten Jahren einer stetig wachsenden Beliebtheit. Die Gründe hierfür liegen auf der Hand. Die bequeme Zuleitung der Energie durch biegsame, jederzeit leicht verlegbare Drähte gestattet einen äufserst schnellen Transport kleinerer Pumpen nach Orten (neu abgeteuften Schächten, frisch getriebenen Strecken), die möglichst bald entwässert werden



Fig. 138.
Normale Grubenlokomotive von Siemens u. Halske für Spurweiten von 450 bis 1000 mm.

sollen. Wir führen hier zwei solcher Pumpen vor, die sich durch grofse Transportfähigkeit auszeichnen. Fig. 139 ist eine durch einen Gleichstrommotor AF_3 von Schu.-N. angetriebene, fahrbare Drillingsmaschine auf dem Maxschachte zu Kladno in Böhmen. Sie hebt 150 l pro Minute auf 45 m Höhe. — Die durch einen wasserdicht gekapselten Gleichstrommotor angetriebene **Abteufpumpe** Fig. 140 der Union zeichnet sich durch grofse Beweglichkeit besonders aus, da sie direkt in den Schacht eingehängt werden kann. Die Anlafsvorrichtung für

den Motor wird sich dann über Tage, eventuell an der Schachtöffnung, befinden.

Aber auch für gröfsere Wasserhaltungen, wie sie für umfangreiche

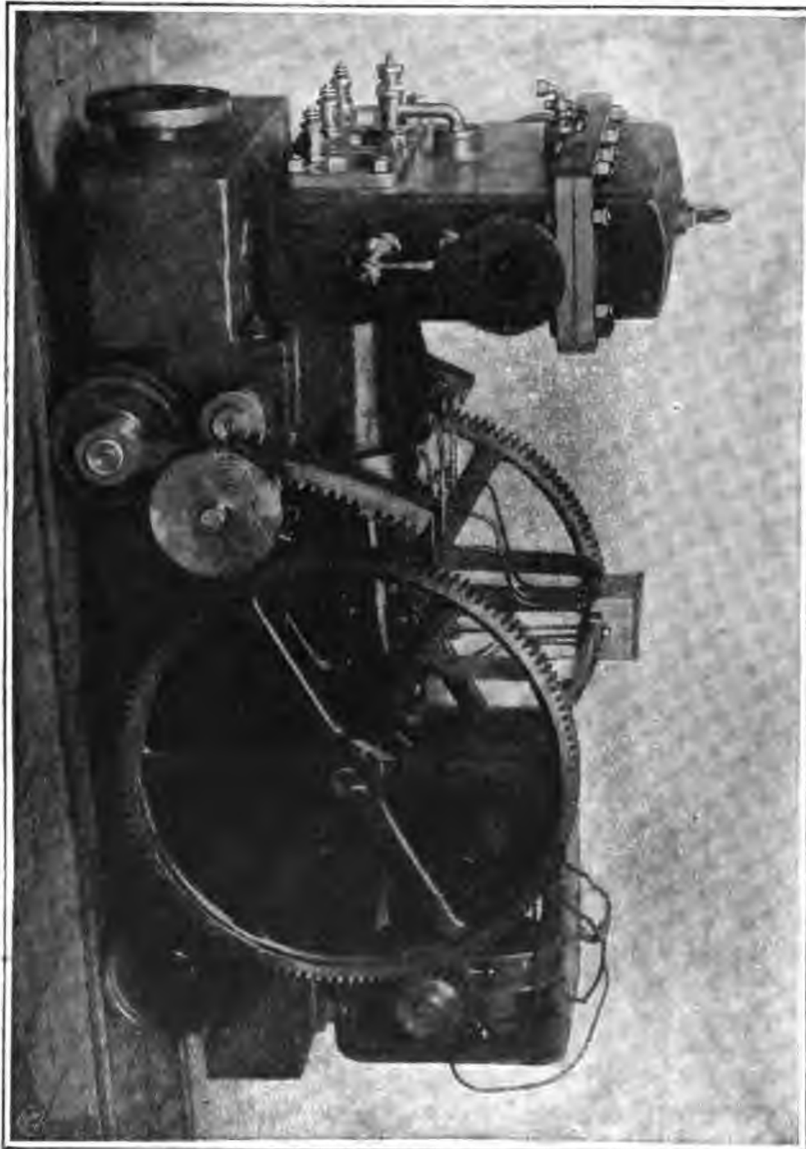


Fig. 139.

und stationäre Grubenbetriebe doch meistens unter Tage in nächster Nähe des Schachtes eingebaut werden, ist der elektrische Antrieb der beste. Man braucht nur an die zahlreichen, langwierigen und nicht minder

kostspieligen Reparaturen der sonst im Schachte zu verlegenden Dampfleitungen zu denken und sich die Einfachheit des Verlegens eines elektrischen Leitungskabels und dessen Dauerhaftigkeit vorzustellen, um sich dieser Überzeugung rückhaltslos anzuschliefsen. Dazu kommt noch, dafs der für eine elektrisch betriebene unterirdische Wasserhaltung auszuschiefsende Raum bedeutend kleiner dimensioniert werden kann, als der für Dampfbetrieb. Nur ein Umstand schien lange Zeit

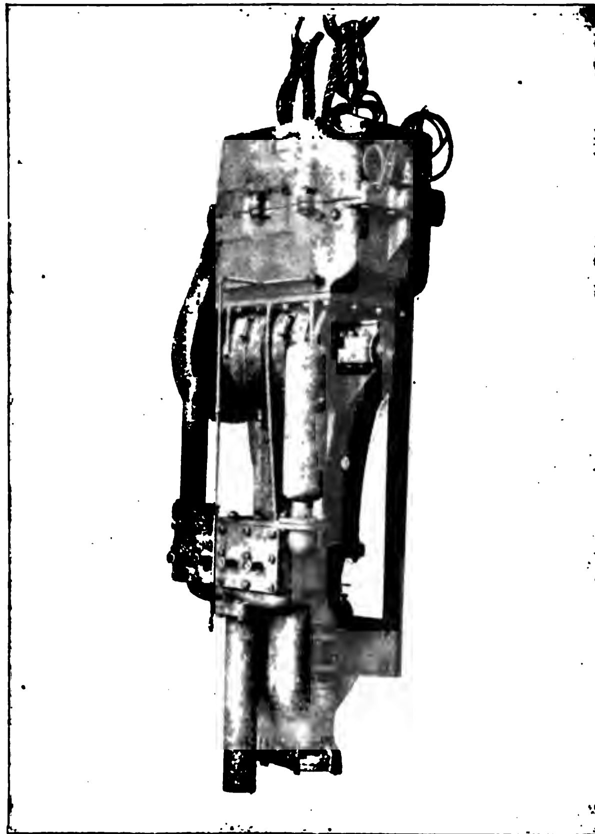


Fig. 140.

der Einführung des Elektromotors für gröfsere Pumpen im Wege zu stehen, nämlich die geringe Tourenzahl dieser Maschinen gegenüber der grofsen der Elektromotoren. Es waren und sind noch teilweise grofse Rädervorgelege bezw. Riemenübertragungen erforderlich, die den Wirkungsgrad der ganzen Anlage bedeutend herabsetzen. Man sehe die doppelte Zahnradübersetzung der Grubenpumpe der Union in Fig. 141. — Für kleinere Förderhöhen (bis 25 m) könnte man diesen Übelstand

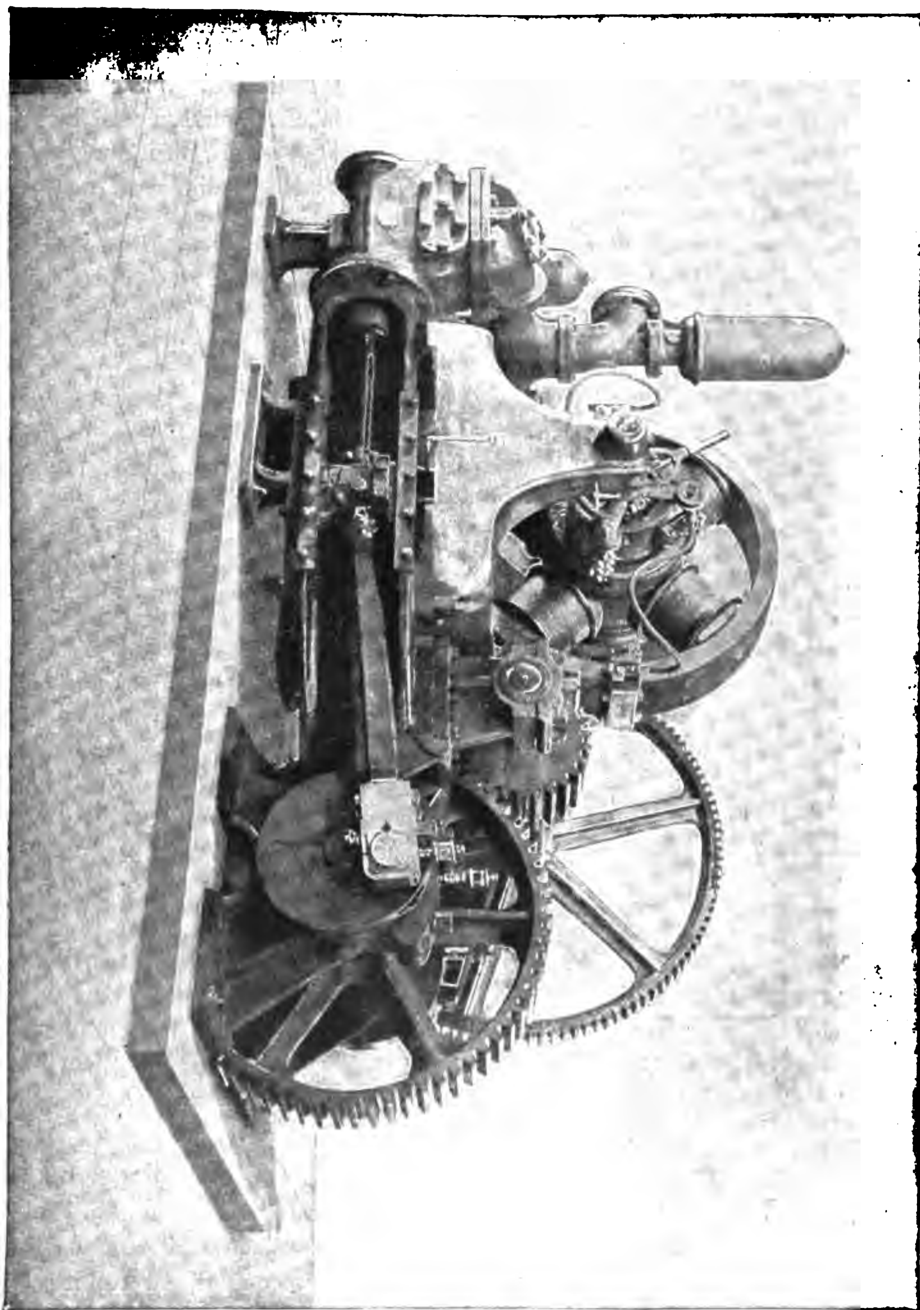


Fig. 141.

durch Verwendung von **Centrifugalpumpen** umgehen; denn diese arbeiten mit hoher Umdrehungszahl und können daher mit dem Elektro-

motor direkt gekuppelt werden. Ihr geringer Wirkungsgrad (meistens nur 0,6, bei kleineren noch weniger) und die kleine Förderhöhe setzen ihrer Verwendbarkeit im Grubenbetriebe sowohl über als unter Tage eine gewisse Grenze. Beim Abteufen von Schächten und Vortreiben von Schächten, ferner für die Zuführung des Wassers niedriger gelegener Strecken zu der Hauptwasserhaltungsmaschine ist die Centrifugal-

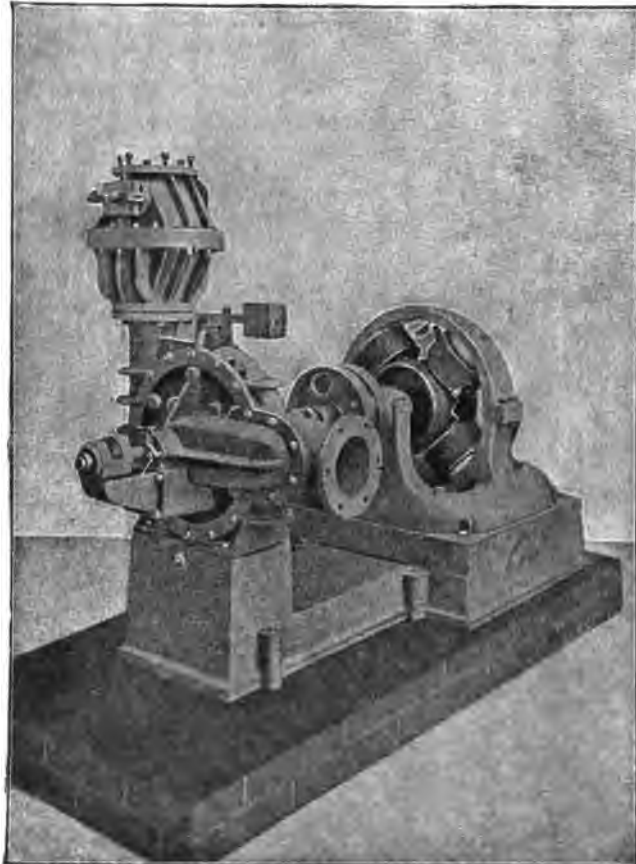


Fig. 141a.

pumpe wohl am Platze. Ebenso leistet sie gute Dienste zum Füllen von Wasserbehältern für Kesselspeisewasser etc. (siehe weiter unten), Fig. 141a. In allen anderen Fällen mufs man, wie gesagt, zur Kolbenpumpe übergehen. Um diese direkt antreiben zu können, hat man grofse Elektromotoren gebaut, die eine grofse Polzahl besafsen und infolgedessen langsam liefen (s. S. 107, II, 1). Doch ist dies auch nur bei

gröſseren Pumpen möglich. Eine wirkliche Lösung des Problems ist erst durch den Bau schnelllaufender Pumpen mit zwangsläufiger Steuerung, wie sie von Riedler und Bergmann entworfen worden sind, gefunden worden. Wir kommen darauf in einem späteren Vortrage (s. 16. Vortr.) zurück. — Als Beispiel für direkt angetriebene Pumpen führen wir hier noch die Pumpstation I der Gutehoffnungshütte in Oberhausen an, die mit zwei Gleichstrommotoren für je 50 PS. versehen ist (Fig. 142, Schu.-N.).

Für den Fall der Anwendung eines Elektromotors zum Betriebe einer kleineren Pumpe, die das Wasser von einer tiefer bezw. auch

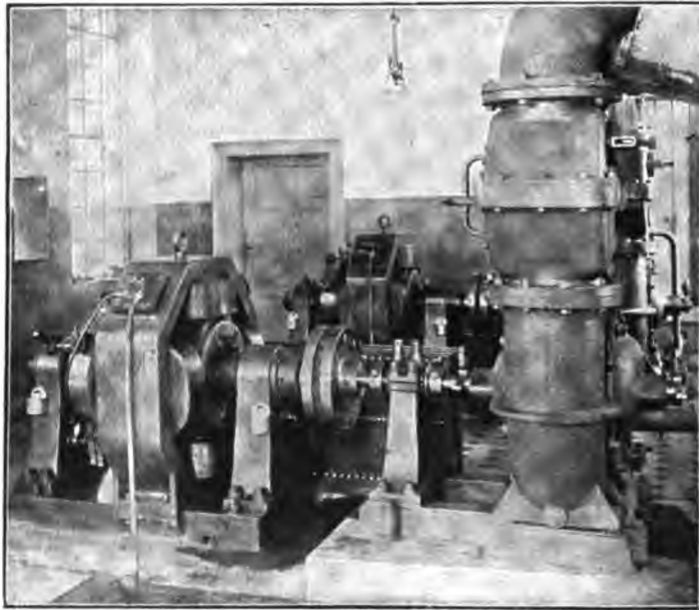


Fig. 142.

entfernter liegenden Station in einen gröſseren Behälter pumpt, von dem erst die Wasserentnahme folgt, sind Vorrichtungen nötig, welche die Pumpe auſser Thätigkeit zu setzen gestatten, sobald das Reservoir gefüllt ist. Wir haben bereits früher einen elektrischen Wasserstandsanzeiger von S. u. H. beschrieben. Dieser kann nur dann in betracht kommen, wenn auf der Pumpstation ein Bedienungsmann ständig anwesend ist. Will man aber auch diesen sparen, so sind wieder Vorrichtungen erforderlich, welche den Gang der Pumpe in Einklang mit dem Wasserstande im Behälter bringen. Das Schema einer solchen „selbstthätigen Ein- und Ausrückvorrichtung für elektrisch betriebene

Pumpen“ (von Schu.-N.) giebt die Fig. 143 wieder. Der Schwimmer 1 des Behälters *R* trägt zwei Knaggen 2 und 3. Beim Sinken des Wasserspiegels unter den normalen Stand nimmt die obere Knagge 3 den Hebel 4 mit und bewirkt dadurch schliefslich ein Umschlagen des Gewichtes 5 und eine damit verbundene Bewegung der Stange 8 nach links; diese schliefst durch den Kontakt 7 den zum Elektromotor fliefsenden Strom, wodurch die Pumpe in Thätigkeit gesetzt wird. Ist der vorgeschriebene Wasserstand wieder erreicht, so wird mit Hilfe der Knagge 2 der Strom geöffnet. Aufserdem ist noch die für jeden Motor erforderliche Anlafsvorrichtung vorhanden, welche folgendermafsen arbeitet: Der Stufenwiderstand 17 trägt auf seiner Kurbel ein Schneckenradsegment 13; in dieses greift die mittels der Schnurrolle 14 vom Motor aus betriebene Schnecke 12 ein. Diese hängt lose in einem mit dem Anker 11 des Elektromagneten 10 verbundenen Bügel. Falls der Strom unterbrochen wird, tritt vermöge einer am Anker angebrachten Feder Hebung des Ankers und damit auch des Bügels ein. Die Schnecke ist von dem Schneckenradsegment abgehoben; ein an der Kurbelwelle befestigtes Gewicht 18 dreht den Kontakthebel nach links, wodurch sämtlicher Widerstand eingeschaltet und gleichzeitig das Rad wieder mit der Schnurrolle gekuppelt wird. Tritt jetzt Stromschlufs ein, so setzt sich der Motor langsam in Bewegung; zur selben Zeit hat der Elektromagnet 10 den Anker 11 angezogen, sodafs die Schnecke in die Zähne des Zahnrades eingreift und allmählich durch Verschieben der Widerstandskurbel nach rechts allen Widerstand ausschaltet. Der Motor hat jetzt seine volle Tourenzahl erreicht; es wird nun vermittels einer Hebelübersetzung eine Kuppelung zwischen Schnurrolle und Schnecke ausgelöst und so die letztere aufser Thätigkeit gesetzt.

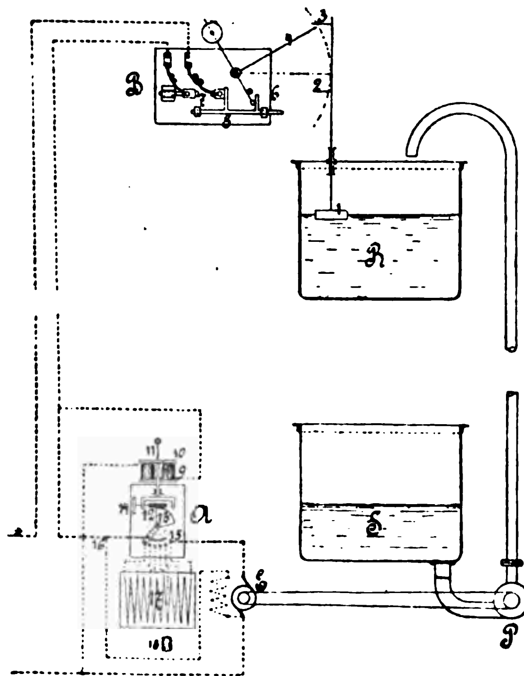


Fig. 143.

Auf ganz ähnlichen Stromkreisschaltungen beruht die elektrische Pumpenanlafsvorrichtung der A. E. G.-B., welche vor allem dann recht brauchbar ist, wenn es nötig ist, bei einer hydraulischen Anlage den

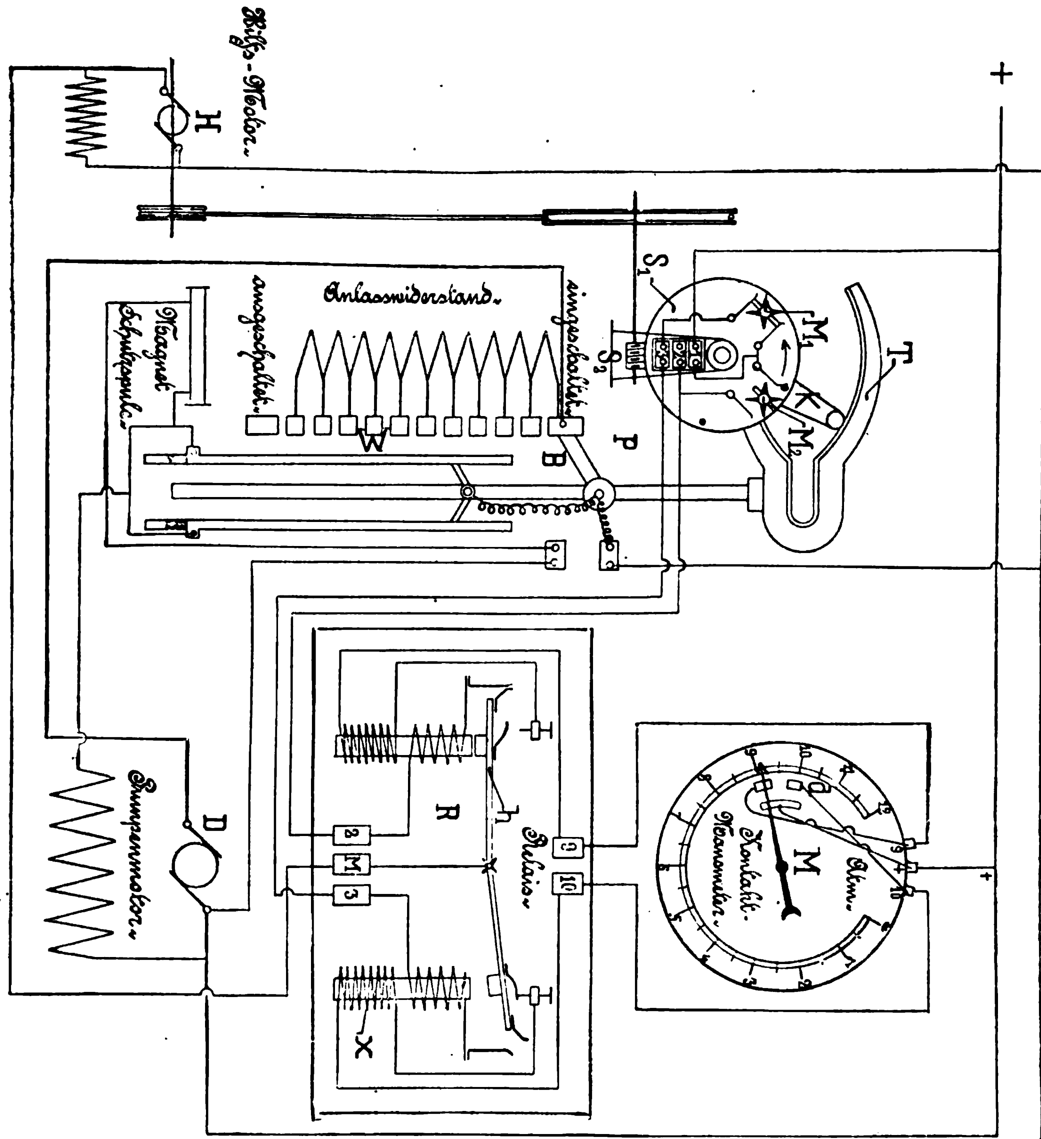


Fig. 141.

Druck stets selbstthätig konstant zu halten, indem man ihn im Akkumulator durch die nötige Wasserzufuhr immer auf derselben Höhe erhält. Dieser Druck wird durch ein Kontaktmanometer *M* (siehe

Fig. 144) kontrolliert, welches ein Doppelrelais R bethätigt und dessen Zeiger zwischen Kontakten (9 und 10) spielt; es soll hier der Druck auf ca. $9^1/_2$ kg/qcm erhalten werden. Je nachdem der Zeiger auf einen der Kontakte einspielt, wird je eine Spule des Doppelrelais R erregt, der zweiarmige Kontakthebel h angezogen und der Hilfsmotor H eingeschaltet. Dieser hebt beim Einschalten des Pumpenmotors vermittelst der Schnecke S_1, des Schneckenrades S_2 und der Kurbel K die Traverse T; dadurch wird die Kontaktbürste B über W hinweg nach oben bewegt und so der Widerstand allmählich ausgeschaltet: der Pumpenmotor läuft langsam an. Ist die volle Tourenzahl erreicht, so unterbricht der auf der Scheibe S_2 befestigte Momentschalter M_2 den Stromkreis des Hilfsmotors, während die Traverse T mit den Bürsten B auf dem obersten Kurzschlufskontakt stehen bleibt. Ist der höchst zulässige Druck von 10 kg/qcm im Akkumulator erreicht, so wird durch den Kontakt d des Manometers der Stromkreis der Spule x geschlossen; der Kontakthebel h klappt um, und der Hilfsmotor H wird abermals eingeschaltet. Dieser bewegt den Hebel K jetzt soweit (nach links), dafs T nach unten fällt und den Pumpenmotor ausschaltet, während gleichzeitig wieder aller Widerstand für ein erneutes Anlassen vorgeschaltet ist. Die wirkliche Ausführung des Apparates stellt Fig. 145 dar.

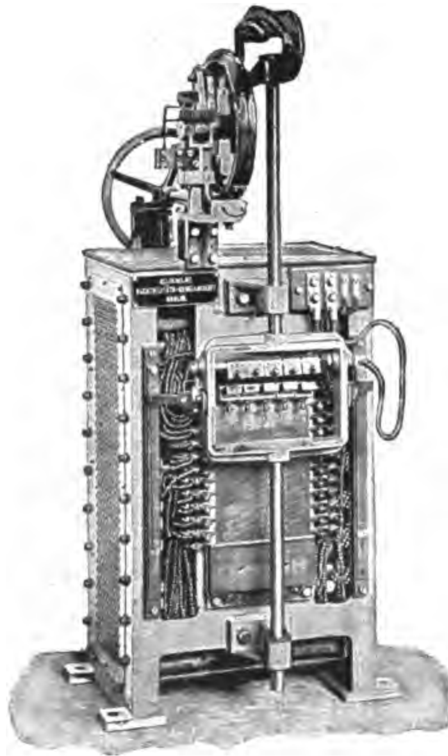


Fig. 145.

Auch von anderen Firmen (S. u. H., He.-K. etc.) werden gut wirkende Apparate dieser Art konstruiert (z. B. Gamanderschacht der Paulus-Hohenzollerngrube bei Beuthen O. S. von S. u. H.).

Für Pumpen sind alle Arten von Gleichstrommotoren in Gebrauch. Für kleinere Pumpen nimmt man häufig Serien-, auch wohl Nebenschlufsmotoren, die ersteren besonders dann, wenn nur ein Motor von einer Dynamo getrieben wird; die Regulierung erfolgt in dem

Falle an dieser selbst; man ordnet aufserdem elektrische Vorrichtungen an, welche es gestatten, die Dynamomaschine von dem Aufstellungsorte der Pumpe aus abzustellen. Für gröfsere Pumpen werden auch wohl Kompoundmotoren genommen, obgleich diese Art der Elektromotoren durchweg sehr wenig bevorzugt wird.

3) **Der elektrische Antrieb von Ventilatoren.**

Die kleinen Ventilatoren haben in allen Fällen eine so hohe Umdrehungszahl, dafs sie mit dem Motor direkt gekuppelt werden können. Es eignet sich diese Art des Antriebes auch für sonst durch Hand

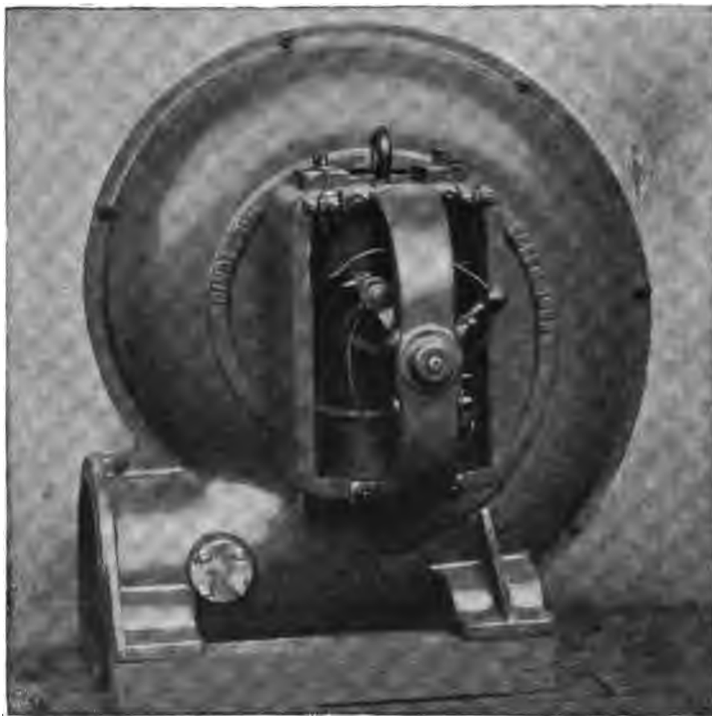


Fig. 146

gedrehte Wetterräder, die ausschliefslich zur Bewetterung eines einzigen in gröfserer Entfernung befindlichen Ortes aufgestellt sind; das Legen und, wenn erforderlich, wieder Fortnehmen der elektrischen Leitung bietet keine zu grofsen Schwierigkeiten. Arbeiten am selben Orte elektrische Bohrmaschinen, so kann man bei denen von S. u. H. die biegsame Welle des für sie vorgesehenen Motors während der Zeit, wo nicht gebohrt wird, einen Ventilator geeigneter Konstruktion drehen lassen. Für kleinere Ventilatoren werden Serienmotoren, für gröfsere gewöhn-

lich Nebenschlufsmotoren genommen. Bei den letzteren, die gewöhnlich nicht direkt, sondern vermittelst Riemen- bezw. Seilübertragung antreiben, kann das Bedürfnis nach Regulierung der Tourenzahl entstehen, um die Wetterführung in der Hand zu haben, falls man nicht etwa „drosseln" will. Man mufs zu einer der früher aufgezählten Methoden greifen. Das Auswechseln einer Seilscheibe der Ventilatorachse gegen eine gröfsere oder kleinere wird zuweilen als ein Mittel angesehen, die Tourenzahl, wenn auch nur sprungweise, zu ändern. Das Verfahren hat jedoch immer den Übelstand, dafs während der Vornahme dieser Operation der Ventilator stillstehen mufs, was zu grofsen Unzuträglichkeiten in der Grube führen kann. Die Änderung der Polzahl des Elektromotors erfordert ein kompliziertes Schaltbrett und be-



Fig. 147.
Hochdruckventilator, gekuppelt mit Gleichstrommotor von Schuckert u. Co.

wirkt auch nur eine geringe Auswahl von Umdrehungszahlen. Es bleibt noch das Mittel des Widerstandeinschaltens übrig; zu dem Zwecke müssen die der Regulierung dienenden Widerstände für Dauerbetrieb eingerichtet sein. Sicherheitsausschalter, Signalvorrichtungen, die den nicht anwesenden Wärter von etwaigen Störungen etc. benachrichtigen, sind hier anzubringen (siehe Fig. 46).

Der in Fig. 146 dargestellte Ventilator von Schu.-N. leistet 65 cbm in der Minute; der Motor ist an das Ventilatorgehäuse angeschraubt und mit Serienschaltung versehen. Ein Wetterrad derselben Konstruktion ist von der genannten Firma auf Zeche Vereinigter Bonifacius, Kray, aufgestellt; der Motor macht dort 200 Umdrehungen in der Minute und leistet 60 PS. Der Wirkungsgrad der Anlage ist zu 79 % an-

gegeben. Das Flügelrad ist direkt auf die Motorachse aufgesetzt. Die in den Fig. 147 und 148 wiedergegebenen Ventilatoren weichen nur in der Art und Weise, wie das Wetterrad und Motor gekuppelt sind, von einander ab. Fig. 149 zeigt einen Ventilator mit vierpoligem Motor; links ist der Anlafswiderstand. Ferner ist ein in Öl gebetteter Widerstand zum Regulieren der Tourenzahl vorhanden, der in die Magnetwickelung eingeschaltet ist.

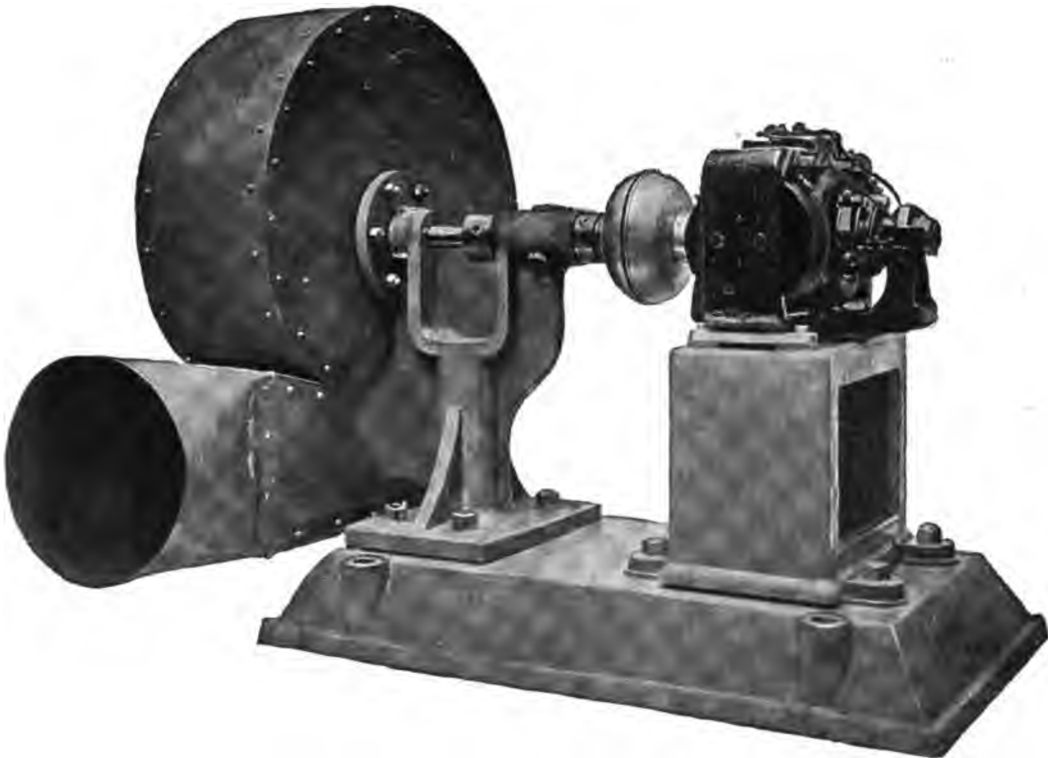


Fig. 148.
Elektrisch betriebener Grubenventilator der Union. 5 PS. Elektromotor, 1000 Umdrehungen pro Min.

4) Elektrische Seil- und Kettenförderung. Elektrisch angetriebene Fördermaschinen. Förderhaspel.

Die in diesen Betrieben verwendeten Motoren sind sowohl Nebenschlufs- als Serienmotoren. Die letzteren bieten den Vorteil, dafs beim Angehen eine grofse Zugkraft entwickelt wird und dafs, falls die stromgebende Dynamo gleichfalls mit Reihenschaltung versehen ist, das Anlassen und Abstellen bei Seil- resp. Kettenfördermaschinen in der Stromerzeugungsstelle selbst vorgenommen werden kann; infolgedessen kann eine ständige Wartung des Elektromotors entbehrt werden.

Eine von diesen letzten Gesichtspunkten aus angelegte Seilförderung ist die des Steinkohlenbergwerkes Zauckerode i. S. (Fig. 150, Schu.-N.). Die Netzspannung beträgt 400 Volts; der Motor leistet 9 PS. und macht 1150 Umdrehungen in der Minute. Wegen dieser grofsen Tourenzahl mufste, da doch die Geschwindigkeit des Seiles nur klein — hier 0,6 m pro Sek. — ist, eine **hundert**fache Übersetzung vorgesehen werden. Sie wird einmal durch konische Zahnräder und zweimal durch Riemen bewirkt. Eine Reversierung des Motors ist ebenfalls möglich. Fig. 151 ist ein Förderhaspel derselben Firma. Der Elektromotor (links) ist wasserdicht eingekapselt. Die Bandbremse (rechts) wird mechanisch bethätigt. Fig. 152 zeigt die Anordnung eines durch einen zweipoligen Elektromotor angetriebenen Aufzuges, ebenso Fig. 153 einen solchen mit Umkehranlafswiderstand und Hilfsmotor (rechts).

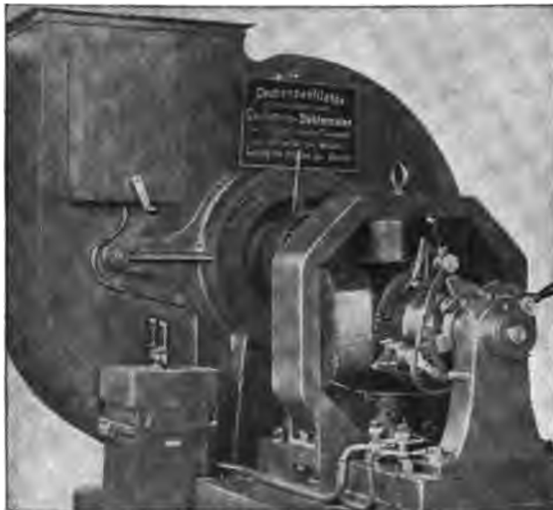


Fig. 149.
Durch einen vierpoligen Elektromotor angetriebener Ventilator von Schuckert u. Co.

Während elektrische Seilförderungen und Förderhaspel schon seit einer Reihe von Jahren in den Bergbau Eingang gefunden haben, ist der elektrische Antrieb gröfserer Fördermaschinen, besonders solcher, die auch der Personenfahrung dienen sollen, noch jüngeren Datums; dieses erklärt sich daraus, dafs an Maschinen dieser Art noch bedeutend höhere Anforderungen hinsichtlich ihrer Manövrier- und Leistungsfähigkeit gestellt werden müssen. Aufserdem lag das Bedürfnis für den elektrischen Antrieb grofser Fördermaschinen nicht vor, da diese meistens in nächster Nähe der Dampfkesselanlage stehen. Mit der Erweiterung der Anlagen eines Grubenfeldes — dem Niederbringen neuer Schächte etc. — stellt sich aber das Verlangen nach möglichster Zentralisation und dadurch erzielte Ersparnis an Kohlen etc. ein. Hier ist der elektrische Strom an seinem Platze. Die Firma S. u. H. hat beispielsweise mit Erfolg Maschinen der gedachten Art gebaut. Wir geben kurz eine Beschreibung der von ihr für die A. G. Thiederhall in

Thiede bei Braunschweig gelieferten Anlage (Fig. 154 und 155). Der betreffende Schacht ist ein „blinder“, und es hat die elektrisch angetriebene Fördermaschine von der 500 m Sohle auf die 300 m Sohle

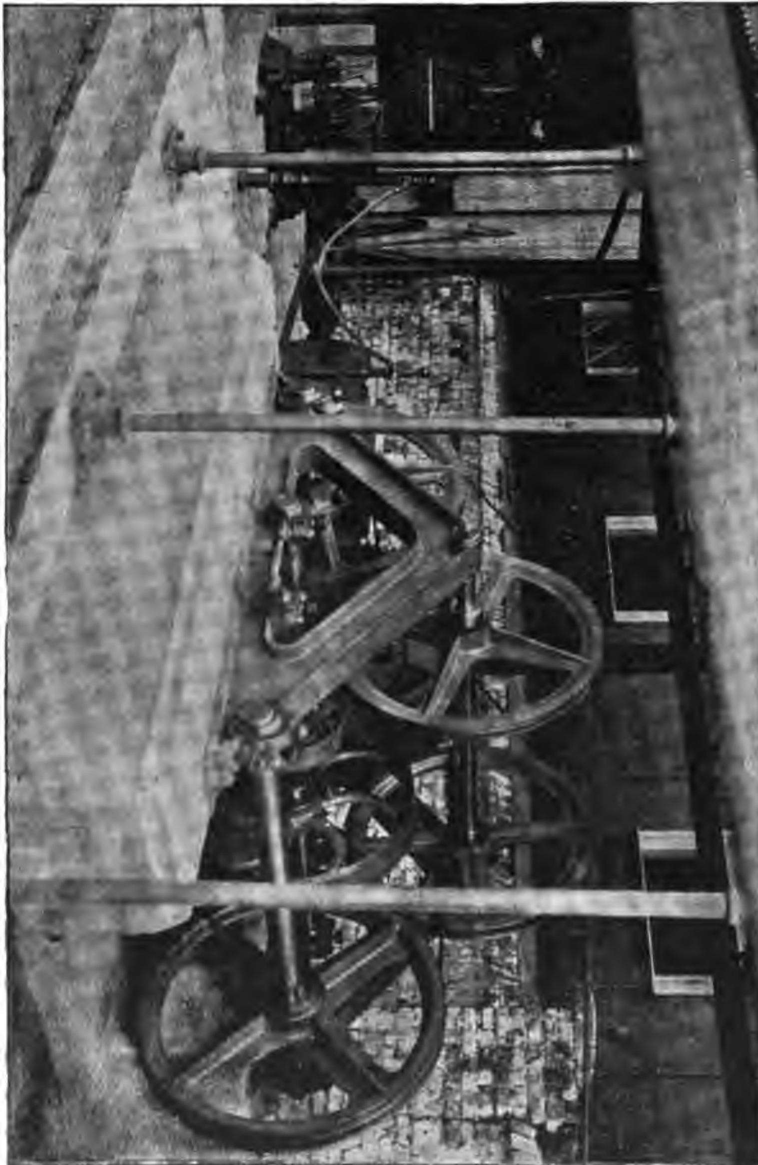


Fig. 150.

zu fördern. Die Betriebsspannung ist 500 Volts. Für den Antrieb der Trommelwelle (Fig. 155) sind zwei Gleichstrom-Nebenschlufsmotoren,

jeder für 150 PS. Maximalleistung, vorhanden. Die Anker sind direkt auf die Wellenenden aufgekeilt; die Welle läuft demnach nur in zwei Lagern. Durch die **zwei** Motoren werden die zwei geforderten Hauptgeschwindigkeiten — 3 m pro Sek. für Personenfahrt und 6 m für Förderung — in einfachster Weise erreicht. Im ersten Falle werden die Motoren — die übrigens sechspolig sind — **hintereinander**, im zweiten **parallel** geschaltet (s. S. 107 II, 2). Die für den beiden Motoren gemeinsamen Anlasser nötigen Widerstände sind zwecks guter Kühlung abseits unter dem Flur freihängend montiert. Um zu verhindern, dafs die Förderschale über die Hängebank hinausgetrieben wird bezw. dafs sie dort

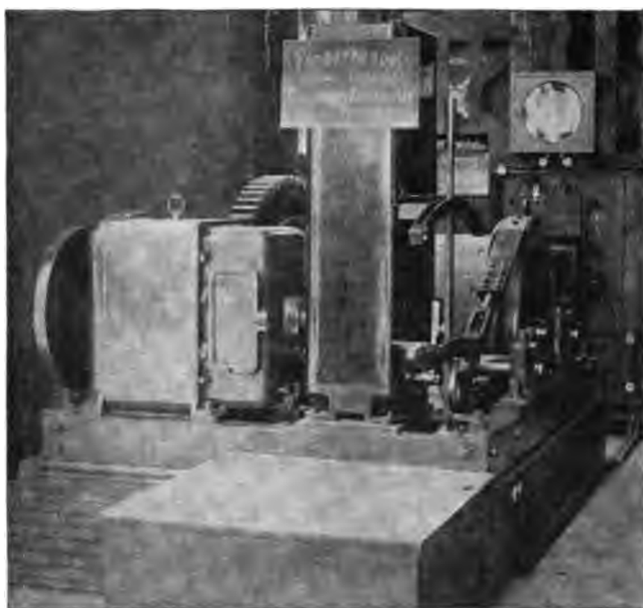


Fig. 151.

mit voller Geschwindigkeit ankommt, sind eine Sicherheitsbremse (Gewichtsbremse) und ein Retardierapparat angebracht. Letzterer dreht, sobald die Förderschale ca. 20 m vor der Hängebank angelangt ist, den Hebel des Anlassers selbstthätig zurück, wodurch vor die Anker der Motoren Widerstand eingeschaltet und infolgedessen die Geschwindigkeit verringert wird. Signalglocken, die vom Teufenzeiger aus die Ankunft der Schale 20 m unter der Hängebank signalisieren, ein Tachograph und ein Stativ mit Volt- und Ampèremeter vervollständigen die ganze Einrichtung.

Um die sämtlichen Belastungsschwankungen, die in diesem Betriebe unvermeidlich sind, auszugleichen, ist noch eine gröſsere Akkumulatorenbatterie aufgestellt, welche als „Pufferbatterie“ *) wirkt. Sie kann auſserdem bei etwaigem Stillstande der Dampfmaschine (also auch der Primärdynamo) zum alleinigen Betriebe auſserhalb der eigentlichen Förderzeit, z. B. für Mannschaftsfahrten, dienen. Ebenso ist eine Speisung der ganzen Beleuchtung der Grube und der Primärstation aus

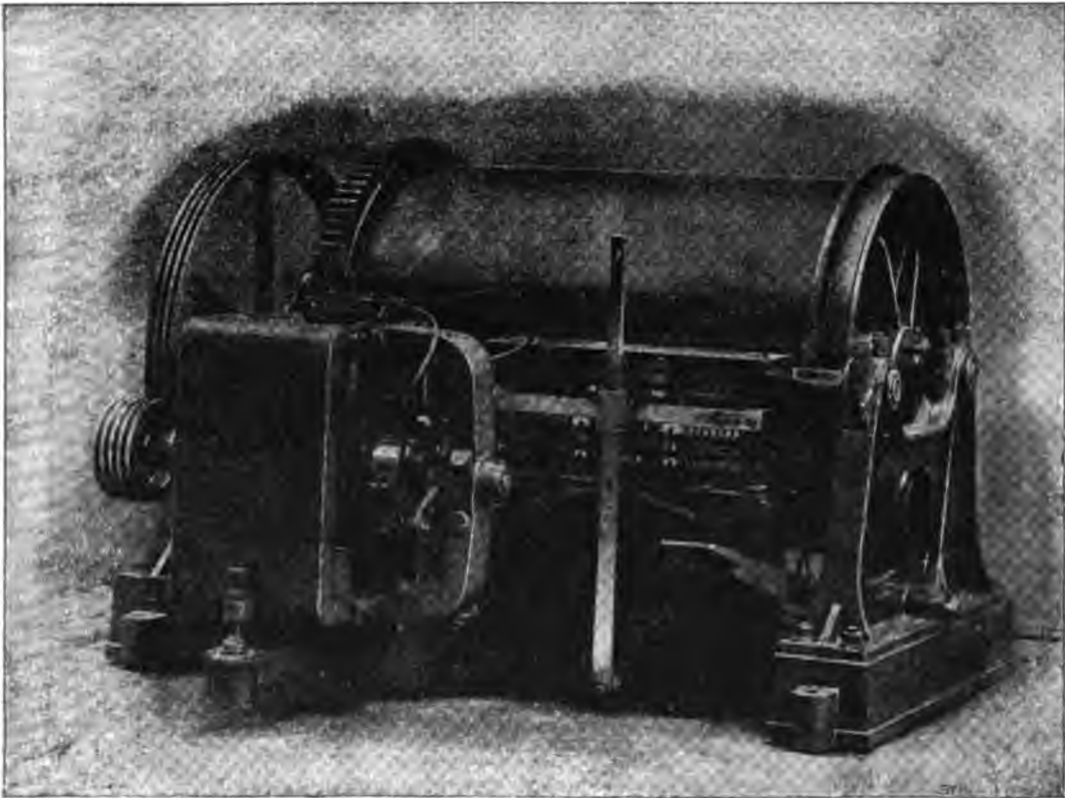


Fig. 152.

dieser Batterie möglich. Ferner kann die letztere beim Einhängen von Lasten die von der Fördermaschine geleistete Energie aufnehmen und so geladen werden.

Aus den Abnahmeversuchen seien hier die nachstehenden Daten, die den betr. Mitteilungen der Firma entnommen sind, wiedergegeben.

*) Diese Batterie giebt in Augenblicken, wo mehr Strom als gewöhnlich gebraucht wird, Energie ab und nimmt in Fällen von Minderbedarf den Überschuſs des erzeugten Stromes auf.

Gröfste Geschwindigkeit bei regelrechter Förderung (Elektromotoren **parallel** geschaltet)	7,1 m pro Sek.
Mittlere Fördergeschwindigkeit	6,0 „ „ „
Gröfste Geschwindigkeit (bei **hintereinander** geschalteten Motoren)	3,6 „ „ „
Mittlere Geschwindigkeit bei hintereinander geschalteten Motoren	3,2 „ „ „
Geringste auf **elektrischem** Wege erreichte **Geschwindigkeit** für Seil- und Schachtrevisionen . . .	0 113 „ „ „

Die letzte Angabe spricht hinreichend für die **hohe Änderungsfähigkeit der Tourenzahl dieser Fördermaschine mit elektrischem Antriebe.**

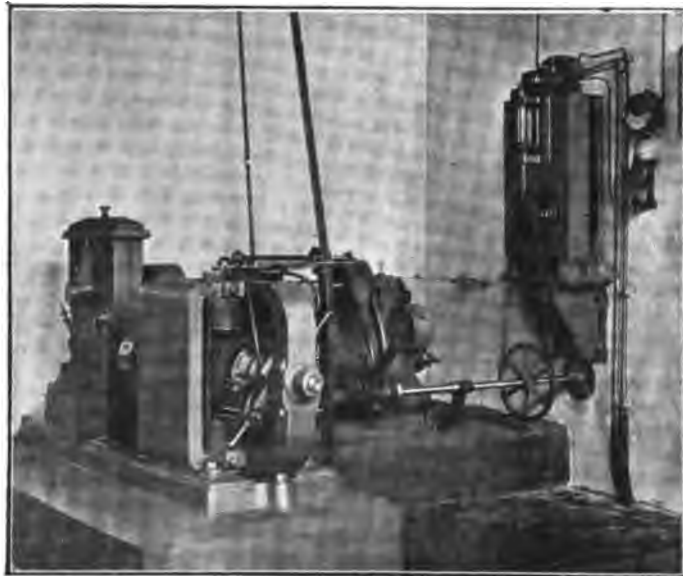


Fig. 153.

Auch von der A. E. G.-B. sind bereits gröfsere Fördermaschinen-Motoren gebaut worden, z. B. Eisenerzgrube „Hollertszug“ b. Herdorf a. Sieg. Der Motor ist hier nicht, wie bei der Siemensschen Anlage in Thiederhall, direkt mit der Trommelachse gekuppelt, sondern mit Zahnradvorgelege versehen. Die Regulierung der Tourenzahl (bezw. das Anlassen und Stillstehen) des Motors wird durch einen Nebenschlufs-regulator besorgt, der zwar bei der Fördermaschine angebracht, aber in die Magnetwickelung der **Primärdynamo** eingeschaltet ist; letztere liefert nämlich ausschliefslich Strom für den genannten Motor (**Hauptstrommotor**; Stromverbrauch 100 KW bei 450 Volts Betriebsspannung;

Umdrehungszahl 335 pro Min.; Leistung 120 PS., Fördergeschwindigkeit 3 m pro Sek.).

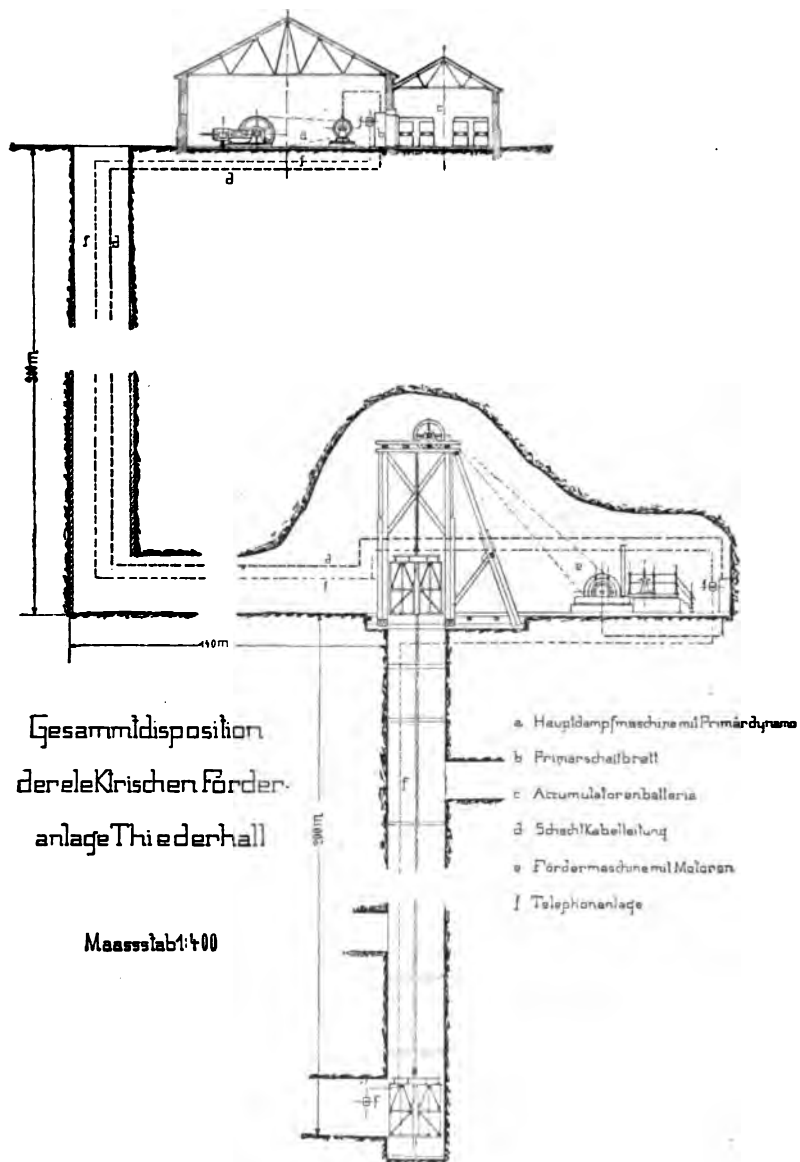


Fig. 154.

5) Elektrisch angetriebene Gesteinsbohrmaschinen.

Den elektrischen Gesteinsbohrmaschinen scheint noch eine grofse Zukunft bevorzustehen; denn es kann wohl keinem Zweifel unter-

liegen, dafs sie den mit Prefsluft betriebenen Apparaten gegenüber, so gut diese auch sonst wirken mögen, hinsichtlich der Billigkeit der Fortleitung der Energie doch manche Vorteile bieten. Der von den Freunden des Prefsluftbetriebes hervorgehobene Vorzug, dafs die zugeführte Luft gleichzeitig zur Ventilation vor Ort diene, ist zwar nicht ganz von der Hand zu weisen; doch fällt er nicht so sehr ins Gewicht, als man anfangs glauben möchte. Im übrigen kann man in-



Fig. 155.

direkt etwas Ähnliches auch bei den elektrisch betriebenen Bohrmaschinen erreichen: man braucht nur, solange diese nicht arbeitet (bohrt), deren Motor auf die Achse eines kleinen Ventilators arbeiten zu lassen. Sehr leicht läfst sich dies, wie bereits bemerkt wurde, bei den Maschinen von S. u. H. bewerkstelligen, da bei diesen gewöhnlich Motor und Bohrmaschine getrennt sind.

a) Elektrisch angetriebene Stofsbohrmaschine von S. u. H.-Ch.

Dieser Apparat besteht in der Hauptsache aus drei leicht zu trennenden Teilen: dem **„Motorkasten“**, der **„biegsamen Welle“** (von Stow) und der **eigentlichen Bohrmaschine.** Dazu kommen noch der **Anschlufskasten** mit zwei Bleisicherungen und die **Kabeltrommel.**

Die beiden letzteren Einrichtungen zeigt Fig. 156. Die gut isolierte Verbindungsleitung zwischen beiden wird mit Hilfe eines Anschlufsstöpsels an die Kabeltrommel geführt, ist mithin jederzeit leicht lösbar.

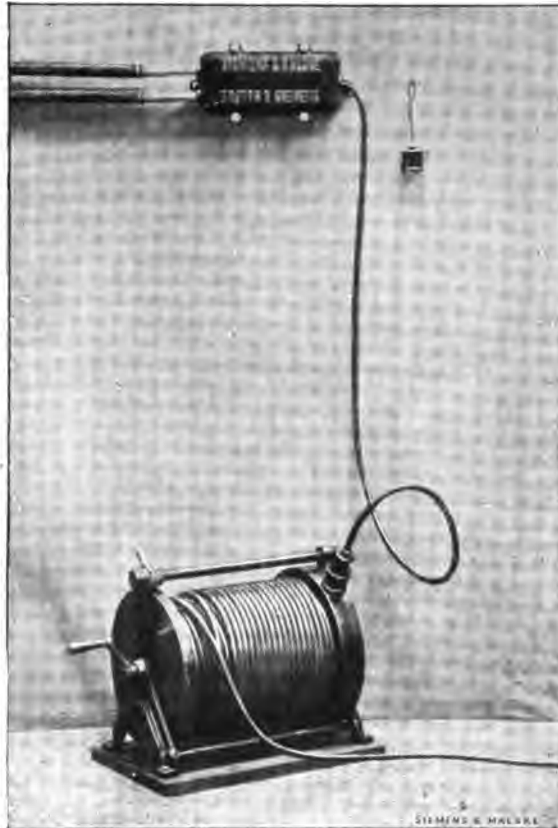


Fig. 156.

Das auf die Trommel gewickelte Kabel wird wieder durch einen Stöpsel leitend am „Motorkasten“ befestigt. Dieser birgt in seinem Inneren einen Nebenschlufsmotor nebst Zahnradvorgelege, der, zwecks besseren Anziehens beim Angehen, noch mit einer Kompoundwickelung*) versehen ist (cf. Fig. 123). (Fig. 157). Hinter dem Motor ist der Anlafswiderstand und eine Sicherung in Porzellandose (Fig. 158) angebracht.

Auf die Achse des grofsen Vorgelege-Zahnrades kann die „biegsame Welle“ — ein Stahlmantel, der innen eine grofse Zahl von Spiralen, die Seele, trägt — geschoben und dort festgehalten werden.

Das andere Ende der Welle wird ebenfalls vermittelst einer Klemmkuppelung bei *a* (Fig. 159) an der Achse des kleineren Kegelrades der Bohrmaschine befestigt.

*) Siehe auch S. 110.

Die in dem „Räderkasten" befindlichen konischen Vorgelegeräder bewirken durch den Kurbelzapfen *b*, der in die stählerne Gleitrinne *d* greift, eine hin- und hergehende Bewegung des Schlittens *e*—*e*. Zwischen dessen Endplatten sind zwei sehr starke Schraubenfedern (*g*—*g*) eingespannt. Das Zusammendrücken **einer** derselben würde einen Druck von 800 kg erfordern. Der Rand *f* einer Buchse springt flanschenartig vor. In dieser „Stofsbuchse" ist der Kolben drehbar, aber nicht längsverschiebbar gelagert. Bei der aufserordentlich schnell hin- und hergehenden Bewegung des Schlittens (7 mal pro Sek.) schlägt



Fig. 157.

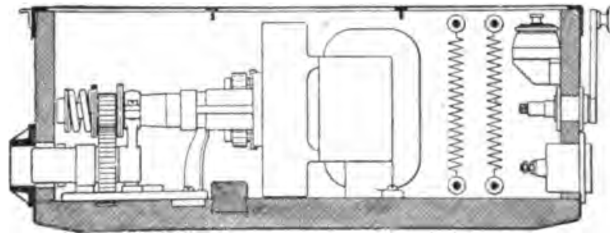


Fig. 158.

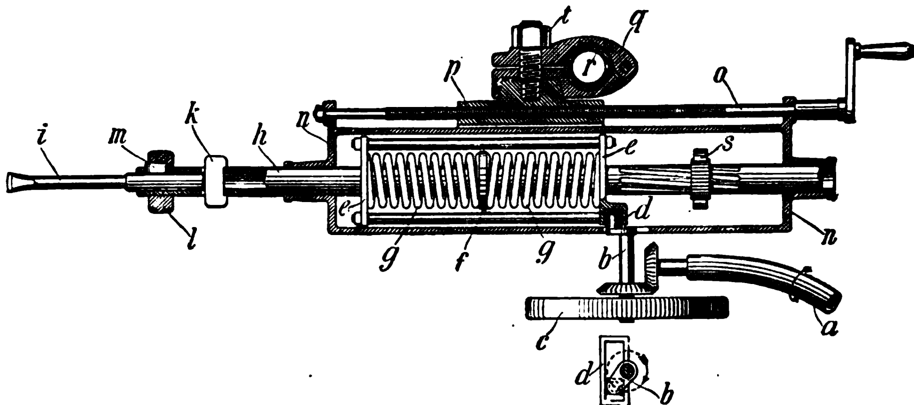


Fig. 159.

der Kolben vermöge der beschriebenen Anordnung und seines grofsen Gewichtes nach vorn und hinten durch; der an dem Kolben befestigte

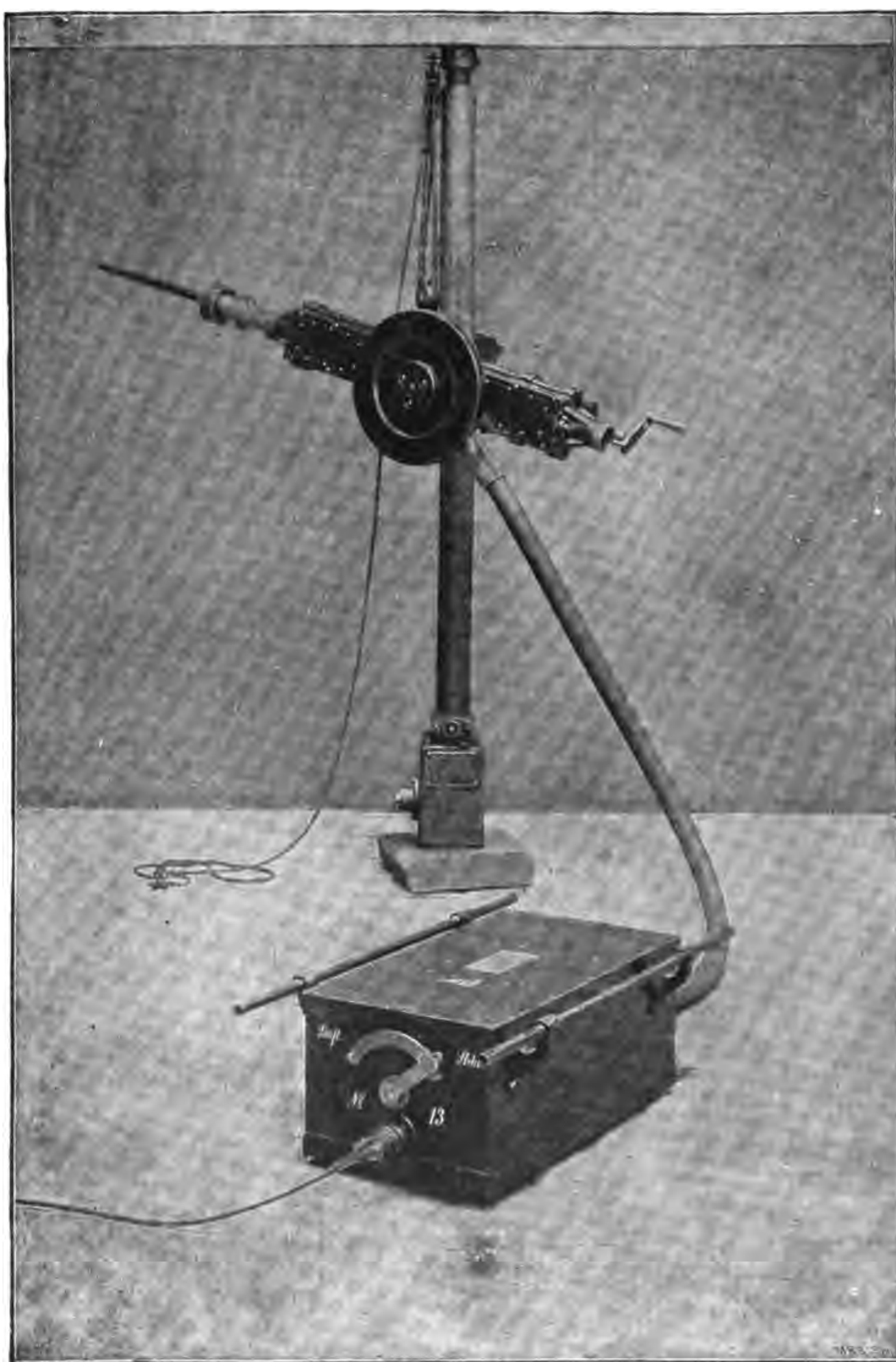


Fig. 160.

Meifsel *i* führt daher ein „stofsendes“ Bohren aus. Das hierbei nach jedem Schlage erforderliche Drehen des Bohrers wird durch eine Vorrichtung besorgt, die aus einem auf den Stofskolben (hinten) geschnittenen Schraubenzuge und einer einseitig gesperrten Mutter (*s*) besteht. Der Vorschub erfolgt, wie gewöhnlich, mittelst Schraube und Handkurbel (*o*). Die Befestigung der ganzen Bohrmaschine auf dem Gestell wird durch *r* und *q* unter Anziehen der Schraube *t* besorgt. Sehr wichtig ist auch das Schwungrad *c*; durch dessen Trägheitsmoment werden die Belastungsschwankungen der Kurbelwelle ausgeglichen, so dafs diese auf die Antriebsorgane ohne Einflufs bleiben. Um die biegsame Welle in jeder beliebigen Lage zur Maschine führen und so nach jeder beliebigen Richtung mit der Maschine arbeiten zu können, ist der „Räderkasten“ um eine zur Bewegungsrichtung des Kolbens senkrecht stehende Achse drehbar und in jeder Lage feststellbar.

Ein Gesamtbild der Art und Weise, wie die einzelnen Teile verbunden werden, zeigt uns Fig. 160.

Fig. 161.

b) **Drehbohrmaschine von S. u. H.** (Fig. 161—163). **Motor und Maschine getrennt.**

Stromzuführung, Motor etc. sind genau wie bei a), sodafs diese keiner weiteren Besprechung bedürfen. Die biegsame Welle wird bei *a* angekuppelt und greift wieder ein Kegelräderpaar an (Fig. 161). Dieses setzt die Bohrspindel durch eine diese umschliefsende hohle Welle unter Vermittelung einer Feder in Umdrehung. Der Vorschub des Bohrers erfolgt selbstthätig nach Art der Ulrichschen Bohrmaschine durch Vorschubräder *ifgh*, welche die Drehung der Schrauben in derselben Richtung wie die der Spindel erfolgen lassen. Der Vorschub des Bohrers ergiebt sich dann aus der Differenz der Geschwindigkeiten der „Vorschubspindel“ und der „Vorschubmutter“ (Differentialvorschub).

Um diesen Vorschub je nach der Härte des angebohrten Gesteines selbstthätig zu regulieren, ist noch eine Reibungskuppelung angebracht. Der Reibungsdruck läfst sich durch eine Schraubenfeder genau einstellen. Durch diese Einrichtung erlangt die Siemenssche Drehbohr-

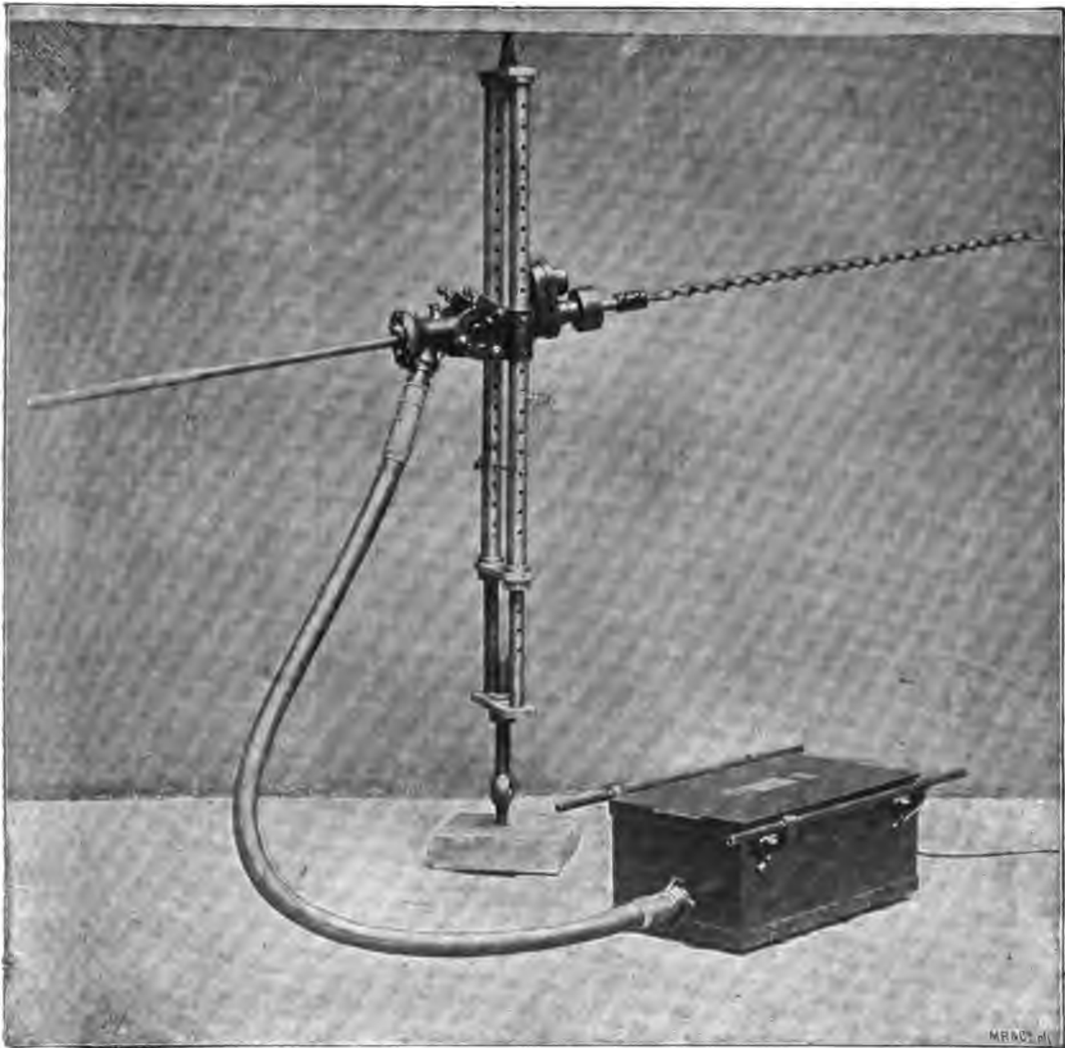


Fig. 162.

maschine den weiteren Vorzug, dafs man mit ihr sehr leicht Gesteinsschichten von wechselnder Härte durchbohren kann. Die gesamte Anordnung wird durch Fig. 162 dargestellt.

In der Grube bedient man sich der in Fig. 160 und 162 sichtbaren Spannsäulen; über Tage dagegen wird die Maschine auf ein Gestell (Fig. 163) gebracht.



Fig. 163.

c) **Drehbohrmaschine mit angebautem Motor** (Fig. 164).

Für sehr intensive Betriebe liefern auch S. u. H. Maschinen, bei

denen der Motor direkt angebaut ist. Das Motorvorgelege (*m*) wirkt hier auf eines der Differentialräder (*c*).

Im übrigen muſs zugegeben werden, daſs die sämtlichen Apparate den Vorteil bieten, daſs sie ohne weiteres an jedes Kraftübertragungs- bezw. Beleuchtungsnetz angeschlossen werden können.

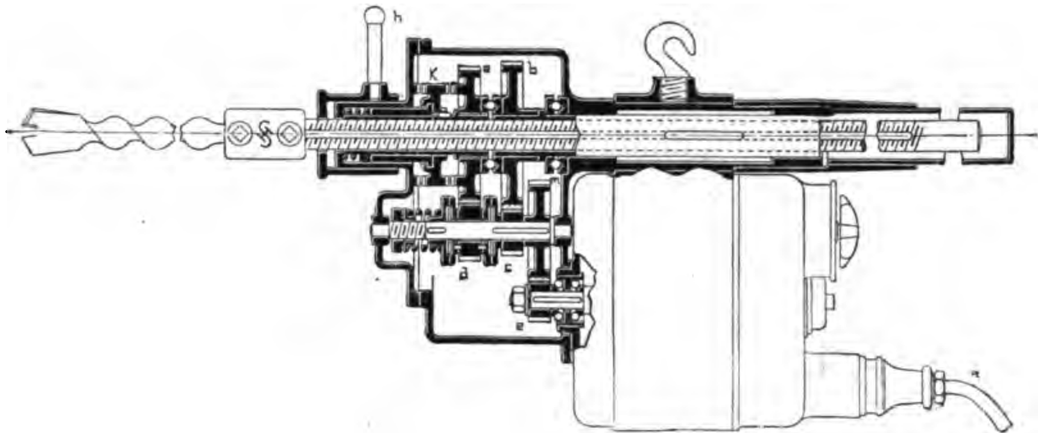


Fig. 164.

Die Bohrmaschinen werden für Spannungen von 110, 220 und 330 Volts gebaut.

Die nachstehende, den Mitteilungen von S. u. H. entnommene Tabelle giebt eine Zusammenstellung der Leistungen verschiedener Bohrverfahren.

	Leistung im Bohrloch in ccm p. Min.	Leistung im Bohrloch in mkg p. Sek.	Energieverbrauch der Kraftmaschine in 1—2 km Entfernung in PS.	Energieverbrauch der Kraftmaschine in 1—2 km Entfernung in mkg p. Sek.	Gesamter Wirkungsgrad der Anlage %
1. Drehendes Bohren in Gesteinen von der Härte des Steinsalzes:					
a) mit der Handdrehbohrmaschine ...	80	6	—	—	—
b) mit der S. u. H. Drehbohrmaschine	600	45	1,7	125	36
2. Stoſsendes Bohren in Gesteinen von der Härte des Granites:					
a) von Hand mit Meiſsel und Schlägel pro Mann	4	2,4	—	—	—
b) mit der S. u. H. Stoſsbohrmaschine	50	30	1,7	125	24
c) mit der Solenoïdstoſsbohrmaschine	45	27	6,0	450	6
d) mit der Druckluftstoſsbohrmaschine	45	27	10,0	750	3,6

d) **Rotierende Gesteinsbohrmaschine der Un.-B.** (Fig. 165).

Bei dieser Maschine ist gleichfalls der Motor direkt angebaut. Der als Trommelanker ausgebildete Anker trägt auf seinem hinteren Achsenende ein Zahnrad, das in ein größeres auf der hohlen Antriebswelle

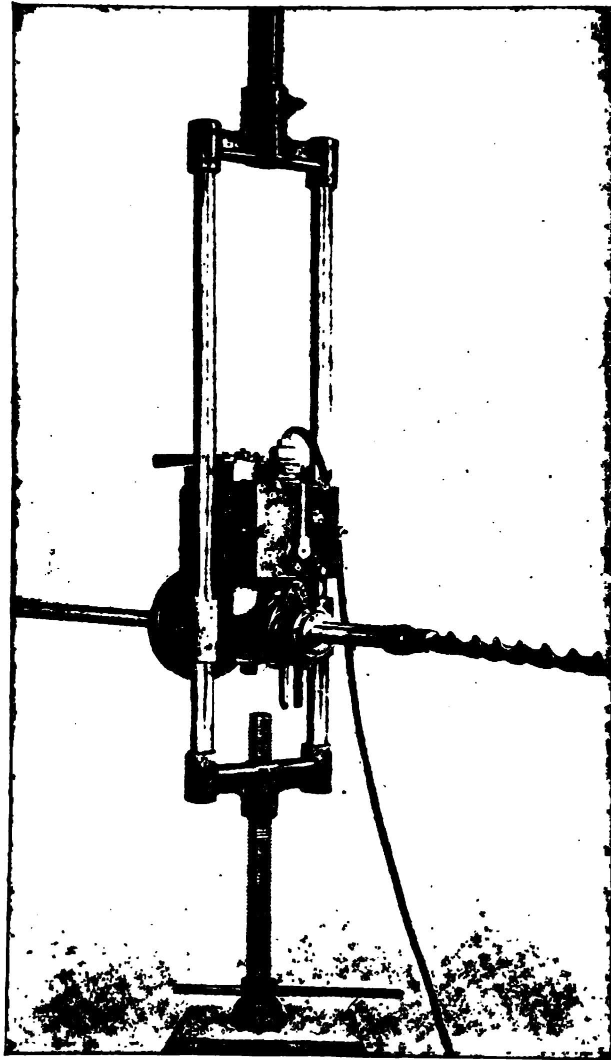


Fig. 165.

sitzendes Rad gleicher Art eingreift. Die Welle bewirkt dann die Drehung der Bohrspindel. Der Kraftverbrauch der Maschinen beträgt durchschnittlich 2 PS. (1,5—2,5 PS.). Die Maschinen für weiches

Gestein (Kohle, Salz) haben einen Vorschub von 0,75—1 m in der Minute, diejenigen für härteres Gestein (Schiefer) einen solchen von 0,4—0,6 m. Die Betriebspannungen betragen 110, 220 und

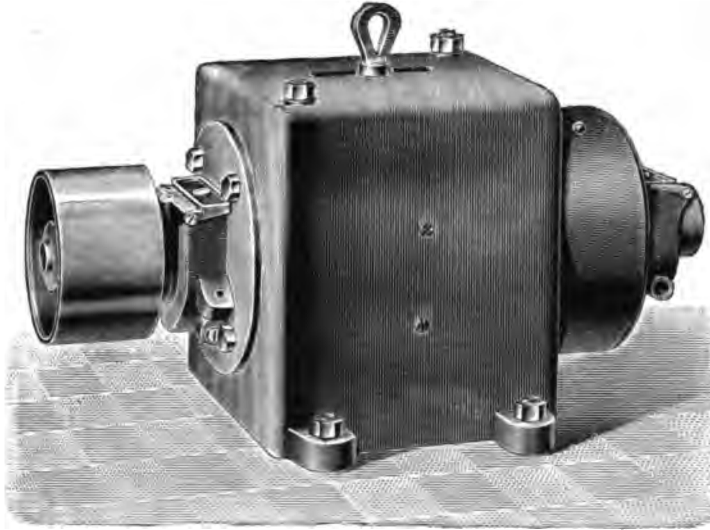


Fig. 166.

500 Volts. Auch diese Maschinen können mit Leichtigkeit an eine etwa schon vorhandene Licht- oder Kraftanlage angeschlossen werden.

e) Vor kurzem hat die E. A. G. vorm. Schu.-N. eine **„elektrische Gesteinsbohrmaschine mit hydraulischem Vorschub und Diamantbohrkrone“** auf den Markt gebracht. Die Anordnung (Kabeltrommel, Motorkasten, biegsame Welle etc.) sowie die gebräuchlichen Spannungen stimmen mit den Siemensschen überein. Nur die Bohrmaschine ist eine andere. Das Bohrrohr trägt nämlich eine mit Diamanten besetzte Bohrkrone (äufserer Durchmesser 36–38 mm) und wird bei einer Umdrehungszahl von 1400—1500 pro Min. vermittels Druckwasser (3 bis 15 Atmosphären) gegen das Gestein geprefst. Die Bohrlochtiefen sollen 5 m und darüber betragen können. Infolge der hohen Tourenzahl der Bohrmaschine an und für sich fällt jegliche Übersetzung fort.



Fig. 167.

Mit dem Vorstehenden sind wohl diejenigen Gebiete des Bergbaues erschöpft, in denen der Gleichstrommotor verwendungs- und noch weiter entwickelungsfähig ist.

Für den Wirkungsgrad eines Gleichstrommotors gilt ungefähr dasselbe, was von dem der Gleichstrommaschinen gesagt wurde. Wir müssen eine gröfsere Wattzahl in die Bürsten hineinschicken, als diejenige ist, die wir in Gestalt mechanischer Arbeit — in PS. gemessen — an der Riemenscheibe nutzbar machen können. Je gröfser der Motor (an PS.), um so günstiger ist der Wirkungsgrad desselben.

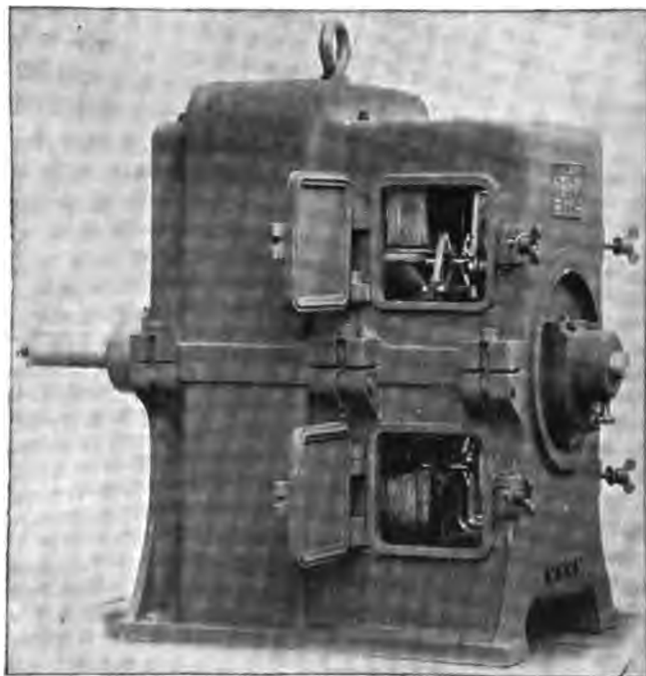


Fig. 168.

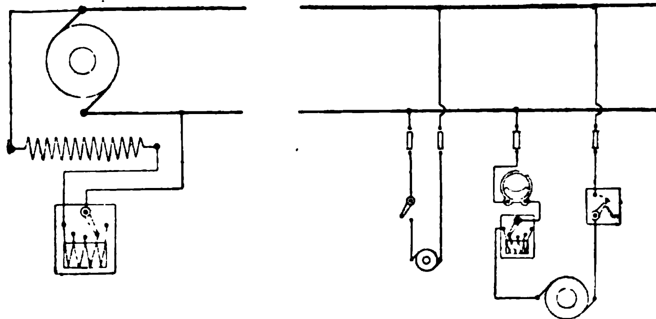
Dafs der Motor überall dort, wo er unter Tage aufgestellt ist, möglichst gegen Feuchtigkeit, Staub etc. geschützt werden mufs, ist einleuchtend. Die bei den einzelnen Verwendungszwecken beschriebenen Motoren zeigen daher alle darauf hin zielende Ausführungen. Wir brauchen hier nur an die Motoren für Grubenbahnen und für Gesteinsbohrmaschinen zu erinnern. Die Fig. 166—168 geben noch drei wasserdichte Motoren wieder: Fig. 166 wird von der Elektrizitätsgesellschaft Schumann-Leipzig, Fig. 167 und 168 von Schu.-N. fabriziert. Die letzte Figur zeigt zwei Motoren übereinander angeordnet. Ganz ähnlich sind die wasserdichten Motoren von S. u. H.

Dreizehnter Vortrag.

Elektrische Kraftübertragung. Dreileitersystem. Gleichstromumformer.

Wie wir bereits früher erwähnten, konnte die Elektrizität erst dann eine gröfsere Verwendung im Bergbau finden, als es sich darum handelte, mehrere Maschinen von einer Kraftzentrale aus in Bewegung zu setzen oder, was noch wichtiger ist, einen in gröfserer Entfernung gelegenen Ventilator oder dergl. in Betrieb zu halten.

Sind mehrere Motoren (etwa für Schiebebühnen, Ventilatoren, kleinere Pumpen, Bohrmaschinen etc.) gleichzeitig von demselben Netz zu speisen, so wird man mit Vorliebe die Nebenschlufsschaltung verwenden, wie dies die Schemata Fig. 169 (Schu.) veranschaulichen; die



(s. auch S. 109, β). Fig. 169. (s. auch S. 108, b, α).

linke Schaltung ist für kleinere Elektromotoren (bis 5 PS.), die rechte für gröfsere gedacht.

Anders ist es dagegen, wenn vielleicht überhaupt nur ein Elektromotor mit Strom zu versorgen ist. Man wird in diesem Falle sowohl die Dynamo als auch den Motor mit Reihenschaltung versehen und kann nun die Regulierung des Motors einfach von der Dynamo aus vornehmen. Ebenso läfst man den Motor mit der Dynamo angehen. Ein solches Verfahren kann für den Betrieb eines entfernter gelegenen Ventilators oder auch einer Wasserhaltung von Vorteil sein (Fig. 170, Schu.).

Die Compoundschaltung ist sehr unmodern geworden.

Der wichtigste Faktor bei jeder Kraftübertragung auf gröfsere Entfernung ist jedoch die Gröfse der zu wählenden Betriebsspannung. Dies machen wir uns am besten an einem willkürlich gewählten Beispiele klar.

Auf der Hauptanlage des Grubenfeldes möge sich auch die den Strom liefernde Primärdynamo befinden. Es soll von hier aus eine Strommenge von solcher Gröfse 10 km weit geleitet werden, dafs ein gröfserer Elektromotor irgend eine Maschine mit **100** PS. angreift. Dazu sind ca. 84000 Watt erforderlich. Rechnet man 10% Leitungsverlust (gewöhnlich nur 5%), so müssen an den Klemmen der Primärmaschine 92400 Watt entnommen werden, und diese mufs bei dem günstigsten Wirkungsgrade von 92% mit einer Antriebsmaschine

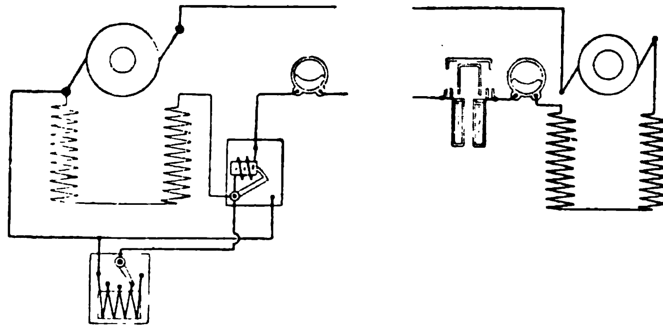


Fig. 170.

= ca. 136 bis 140 PS. gekuppelt werden. Diese Daten sind für uns aber augenblicklich weniger wichtig als die Frage, wie wir die 84000 Watt an Ort und Stelle schaffen. Dies können wir auf zweierlei Weise machen: Entweder nehmen wir eine geringe Spannung (etwa 120 Volts) und dafür einen grofsen Querschnitt der Leitung, oder gröfsere Spannung und geringen Querschnitt der Leitung. Bei der Berechnung des Querschnittes gebrauchen wir die früher angeführten Formeln:

(1) $$J = \frac{E}{W},$$

(2) $$W = \frac{l}{q \cdot s},$$

wo:

J die Stromstärke in Amp.,
E der Spannungsabfall (Spannungsverlust) in Volt,
W der Widerstand in Ω,
l die Länge der Doppelleitung in Metern,
q der Querschnitt in Quadrat**millimetern,**
s das spezifische Leitungsvermögen = 55 für Cu ist*).

*) Nach den „Kupfernormalien“ des Verbandes deutscher Elektrotechniker mufs allerdings s **mindestens** = 57 sein. (S. Anhang B der „Sicherheitsvorschriften“.)

Aus beiden Gleichungen erhält man durch Elimination von W die für unsere Zwecke gebrauchte Beziehung:

(3) $$q = \frac{J \cdot l}{E \cdot s}.$$

Bei einer Spannung von 120 Volts würde die Stromstärke $J = 700$ Ampères betragen. E würde bei $10\% = 12$ sein (in Wirklichkeit wie gesagt nur 6). Man hätte also, da $l = 2 \cdot 10000$ m:

$$q = \frac{700 \cdot 20000}{12 \cdot 55} = 21212 \text{ qmm}.$$

Auf gleiche Weise sind die Querschnitte noch für die Spannungen 1200, 2000 und 3000 Volt berechnet und die Resultate in der nachstehenden Tabelle I. zusammengestellt worden.

Tab. I. 84000 Watt auf 10 km zu übertragen.

	Volt × Amp.	E	J	$q^{(qmm)}$	$d^{(mm)}$	Preis pro m in ℳ	Kosten der 210 km langen Leitung	Preis der Dynamomaschine	Preis des Elektromotors
1)	120 × 700	12	700	21212	164	ca. 180	3600000	12250	8700
2)	1200 × 70	120	70	212	16,4	ca. 1,8	360000	—	—
3)	2000 × 42	200	42	76,4	9,8	ca. 0,8	16000	—	—
4)	3000 × 28	300	28	33,9	6,8	0,5	10000	15000	13000

Es ist immer $l = 20000$, $s = 55$, d = Durchmesser des Drahtes. — Man sieht aus diesen annäherungsweise richtigen Berechnungen, dafs bei 120 Volts die Leitung nicht nur technisch unausführbar ist, sondern auch hinsichtlich der Kosten in gar keinem Verhältnis zu dem Preise der Maschine und des Motors steht. Auch bei 1200 Volts sind die Kupferkosten noch unverhältnismäfsig hoch. Sie sind erst bei 3000 Volts einigermafsen den Kosten der sonstigen Anlage entsprechend, besonders wenn man berücksichtigt, dafs aufser Dynamo und Motor noch die Summen für Mefsinstrumente, Anlafswiderstände, Sicherungen etc. in Anschlag zu bringen wären. **Immerhin sehen wir aus dem vorstehenden, dafs bei Kraftübertragungen die Ausgaben für die Leitung eine wichtige Gröfse bilden, mit der gehörig gerechnet werden mufs.**

Nach der Tabelle I. würde eine Betriebsspannung von 3000 Volts für die Übertragung des Gleichstroms zu wählen sein. Mit dieser Festlegung entstehen nun aber für uns wieder neue Schwierigkeiten. Es werden zwar heutigen Tages Gleichstromdynamos und auch Motoren für 3000 Volts (z. B. Schuckert's Modell ZH) gebaut; doch ist bei ihnen stets noch die grofse Gefahr vorhanden, dafs sie während des Betriebes leicht an ihrer Isolation Schaden nehmen können. Denn gerade die-

jenigen Teile (Anker) der Gleichstrommaschine, welche den Strom von hoher Spannung liefern, **rotieren**; Kurzschlüsse u. dgl. sind daher ungeheuer leicht möglich. Dies ist die Ursache, dafs man bei Gleich-

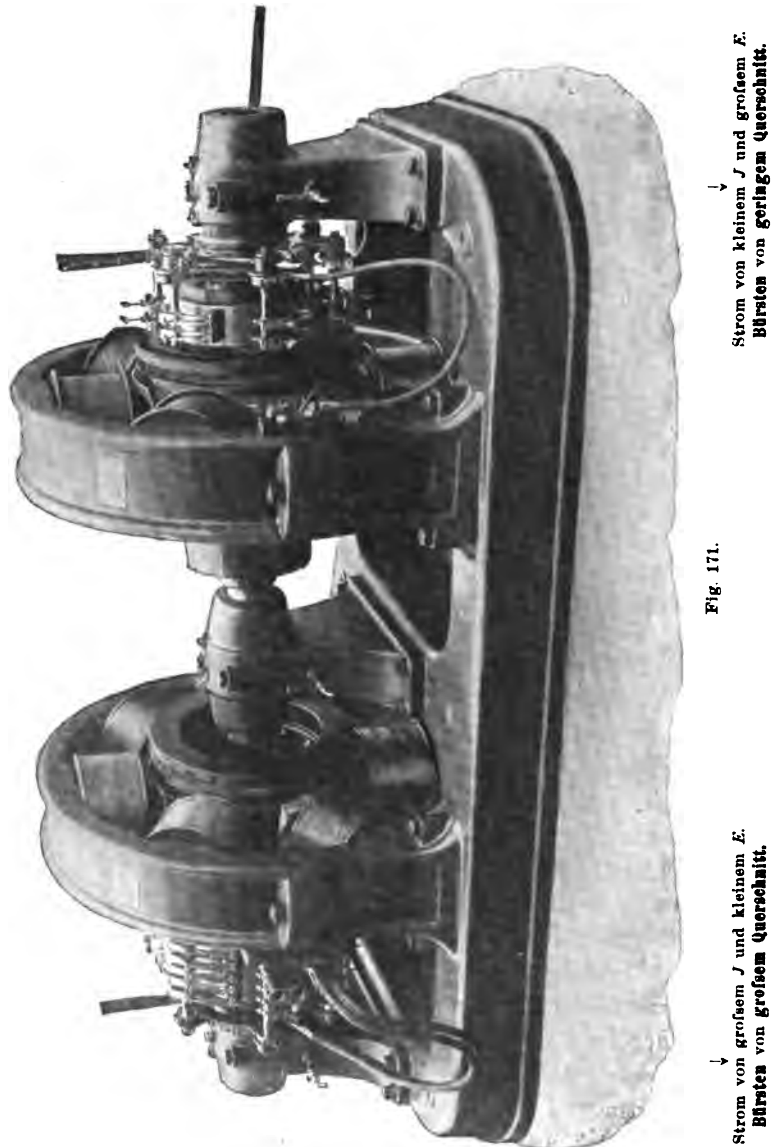


Fig. 171.

strom eigentlich nie höher als 500 Volts, höchstens bis 700 Volts geht. Damit ist gleichzeitig ausgedrückt, dafs **sich schon aus den vorstehenden Gründen Gleichstrom für Kraftübertragungen auf grofse Entfernungen nicht eignet.**

Trotz alledem wollen wir einmal annehmen, es wäre angängig, unter Benutzung des Maschinenmodells ZH die Übertragung mit auf 3000 Volts gespanntem Gleichstrom auszuführen. Es liefsen sich

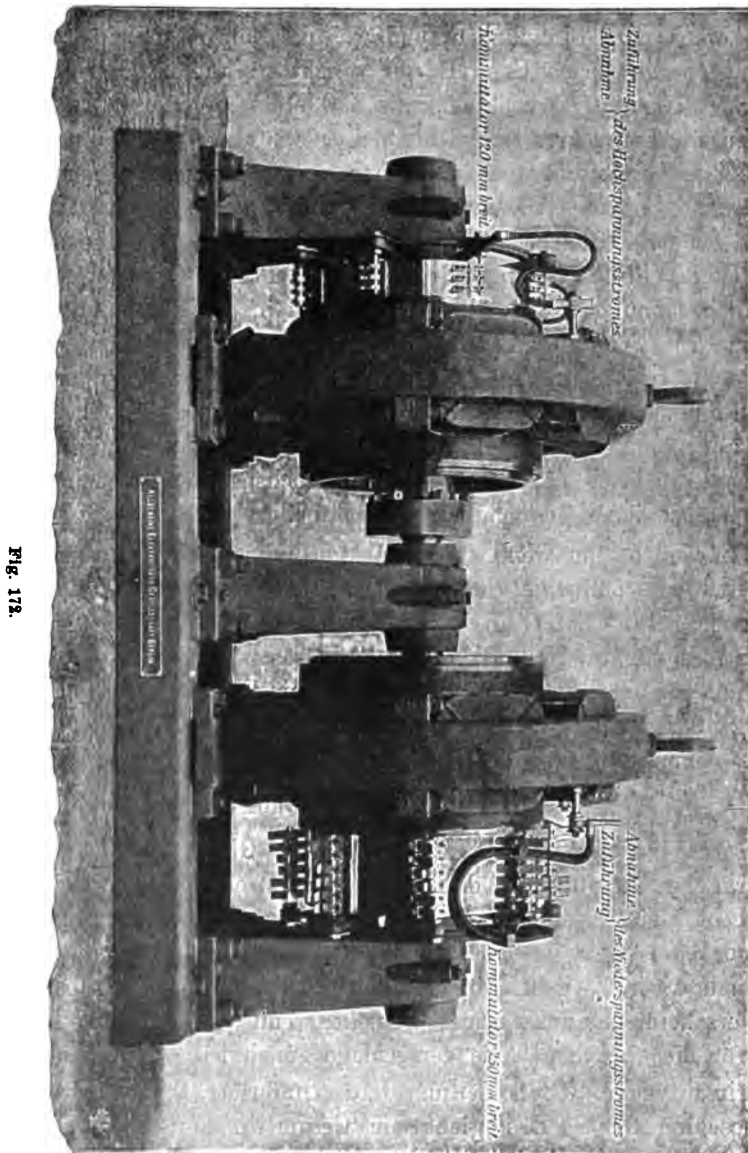


Fig. 172.

hiergegen auch so lange keine anderen Gründe als die obigen ins Feld führen, als wir an der Bedingung festhalten, dafs an der 10 km entfernten Verbrauchsstelle nur **ein** Motor von **gleicher** Spannung

gespeist werden soll. Wie ist es aber, wenn aufser einem (dann kleiner zu nehmenden) Motor auch noch der Strom für Beleuchtung oder etwa für den Betrieb von Bohrmaschinen verwendet werden soll? Das Hintereinanderschalten von 25—30 110voltigen Glühlampen dürfte weder Zweck noch Sinn haben, und was die Bohrmaschinen anbetrifft, so lehnt es die Firma S. u. H. mit Recht „grundsätzlich" ab, diese für Arbeitsspannungen von mehr als 330 Volts zu liefern. Es würde uns also nichts anderes übrig bleiben, als für die gedachten Zwecke den hochgespannten Strom in solchen von niederer Spannung „umzuformen". Solche „Gleichstromumformer" giebt es in der That. Es sind das zwei Gleichstrommaschinen, welche auf einer gemeinsamen Welle sitzen (Fig. 171 von der Un.-B., Fig. 172 von der A. E. G.-B.). Der Hochspannungsstrom (3000 Volts) tritt in die Bürsten der ersten Maschine (I) (links Fig. 172) und läfst diese als **Motor** laufen; diese Maschine I. treibt ihrerseits die zweite (rechts) als Dynamomaschine an. An den Klemmen dieser Maschine wird dann der Niederspannungsstrom abgenommen. Man beachte auch in Fig. 172 (und 171) den schmalen Kollektor (120 mm) bei der Hochspannungs-, den breiten (250 mm) bei der Niederspannungsmaschine.

Wir wollen, um wenigstens die Anordnung zu zeigen, an unsern Apparaten eine derartige Umformung; wenn auch nur unvollkommen, vornehmen. Wir leiten in unsere Nebenschlufsmaschine (Fig. 176) einen Strom von ca. 80 Volts und 5 Ampères; sie läuft als Motor und treibt unseren früheren Hauptstrommotor mit Hülfe einer Riemenübertragung als Dynamo an. Wir entnehmen deren Klemmen einen Strom von 12 Amp. und 15 Volts. Die Umformung wird einen Wirkungsgrad $= \frac{12 \cdot 15}{5 \cdot 80} = \frac{180}{400} = 0{,}45$ haben. Dieses äufserst schlechte Ergebnis ist unserem rohen Versuche zuzuschreiben. Gleichwohl ist auch in der wirklichen Ausführung, d. h. in der Praxis, ebenfalls der Wirkungsgrad recht klein. Nehmen wir für jede der Maschinen auch das recht günstige 0,9 an, so ist der Wirkungsgrad des Umformers nur noch 0,81; nahezu 20% gehen in ihm verloren. In noch ungünstigerem Lichte erscheint uns unser ganzes Projekt, wenn wir folgende Wirkungsgrade für die einzelnen Teile der Anlage annehmen:

Primärdynamo 0,88; Leitung 0,9; Umformer 0,81; Leitung zur Bohrmaschine 0,95. Das giebt als Gesamtwirkungsgrad: $0{,}88 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}95 = \mathbf{0{,}61}$. Dabei ist der Wirkungsgrad der Bohrmaschine noch gar nicht in Rechnung gesetzt, und die in Betracht gezogenen Gröfsen sind noch recht günstig angenommen.

Ein weiterer Umstand, dessen Berücksichtigung uns noch weniger

für diese Übertragungsart schwärmen läfst, ist der, dafs der „Gleichstromumformer“ eine rotierende Maschine ist, die nicht nur einen gröfseren Platz beansprucht, sondern auch stetiger Wartung bedarf, mithin fortwährend nicht geringe Betriebskosten erfordert.

Alle diese Punkte haben dazu geführt, dafs man den Gleichstrom und seine grofsen Vorzüge sich nur für die nähere Umgebung der Zentrale zu Nutze macht. Für gröfsere Entfernungen ist nur der Wechselstrom brauchbar; denn die Wechselstrommaschinen sind leicht für hohe Spannungen zu bauen, und die Wechselstromtransformatoren sind Apparate von hohem Wirkungsgrade, die keiner ständigen Wartung bedürfen.

Wir werden uns demnach mit dem Wechselstrom als dem Strome der Zukunft in den folgenden Vorträgen noch eingehender beschäftigen müssen.

Hier wollen wir nur noch bemerken, dafs für Gleichstrom die gebräuchlichen Betriebsspannungen 110, 220, 500 und (zur Not) 700 Volts sind.

Besonders die Betriebsspannung **220 Volts** ist interessant, und zwar insofern, als man bei ihrer Verwendung gewöhnlich auch eine besondere Art der Stromverteilung, die **„Spannungsteilung“**, vornimmt, die man das **„Dreileitersystem“** nennt. Wir machen uns davon durch folgende Versuchsanordnung einen Begriff (Fig. 173).

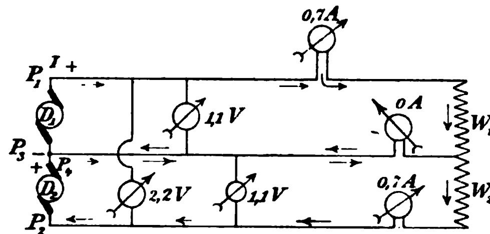


Fig. 173.

Zwei Trockenelemente, welche beide genau dieselbe Klemmspannung aufweisen, werden hintereinander geschaltet. Wir legen an die beiden äufseren Pole P_1, P_2 je einen 5—8 m langen kupfernen Leitungsdraht I bezw. II und ebenso an P_3, P_4 einen gemeinsamen Draht III. Durch Einschalten gleicher Widerstände W_1, W_2 erreichen wir, dafs sowohl zwischen I und III als auch zwischen II und III dieselbe Spannung = 1.1 Volts herrscht. **Zwischen den beiden äufseren Leitern** II **und** I **ist sie dagegen 2,2 Volts.** In I und II finden wir dieselbe Stromstärke = 0,7 Amp., **in** III **ist sie = 0.** Die Erklärung für diese bemerkenswerte Erscheinung wird leicht gefunden, wenn man die beiden Stromkreise P_1, I, W_1, III, P_3 und P_4, III, W_2, II, P_2 betrachtet. In III fliefsen diese Ströme einander entgegengesetzt, und da sie von gleicher Stärke sind, so heben sie einander auf. Man nennt den Leiter III den Nullleiter und bezeichnet ihn daher auch

gewöhnlich mit 0. Sind beide Stromkreise nicht gleich stark belastet, so dient der Nullleiter für die Zuleitung bezw. Hinleitung der Differenz. Man braucht, um unseren Versuch in die Praxis zu übertragen, nur die angegebenen Zahlen mit 100 zu multiplizieren und statt der Trockenelemente sich zwei Dynamomaschinen D_1, D_2 zu denken. Häufig nimmt man statt der zwei Maschinen eine Maschine von 2×110 Volts, welche zwei Ankerwicklungen und ebenso zwei Kollektoren besitzt (z. B. Schu. in Friedenshütte O. S.). Die vier Pole werden dann in der angegebenen Weise verbunden. Auch von anderen Firmen (S., A. E. G., Lahmeyer-Frankfurt a/M.) werden „Dreileitermaschinen" gebaut, die allerdings noch etwas anders ausgeführt sind. Ihre Beschreibung würde uns etwas zu weit von unserem eigentlichen Ziele abführen.

Die Fig. 174 (Schu.-N.) zeigt uns, wie die Motoren und ev. Lampen auf das Dreileitersystem geschaltet werden. Die Lampen und die **kleinen** Motoren (rechts) werden gleichmäfsig auf beide Kreise ver-

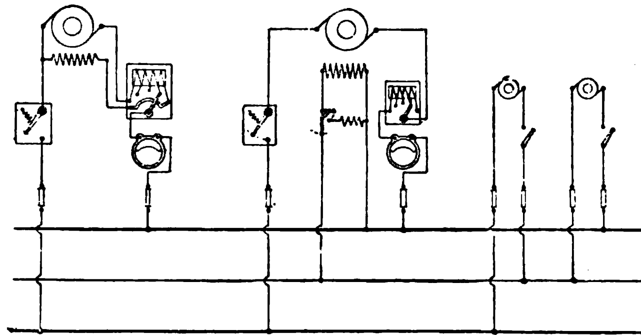


Fig. 174.

teilt. Die gröfseren Motoren werden an die beiden Aufsenleiter (+ und —, *I* und *II*) gelegt (links); indess schaltet man die Magnetwicklungen nicht selten auf einen von den beiden Kreisen (mittlerer Motor, 3).

Es sind drei Zuleitungen erforderlich; man nimmt für den mittleren einen geringeren Querschnitt, da dieser doch nur als Ausgleicher dient.

Ist die Stromverteilung so einzurichten, dafs in nächster Umgebung der Zentrale der meiste Strom verbraucht wird und nur ein Teil nach einer etwa 1 km entfernten Station zu leiten ist (z. B. Cleophasgrube in Zalenze b. Kattowitz O. S.), so kann man sich auch so helfen, dafs man nur die beiden äufseren Leiter nach der letzteren Stelle führt.

Sind an das Dreileitersystem sehr viel elektrische Lampen und kleinere Motoren angeschlossen, so nimmt man, um zwischen beiden Arten des

Stromverbrauches bei Tage und bei Nacht ein gewisses Gleichgewicht herzustellen, eine Akkumulatorenbatterie zur Hilfe, für deren Ladung bei gröfseren Anlagen meistens noch eine Reservedynamo aufgestellt wird, die auch noch bei Betriebsstörungen etc. verwendbar ist.

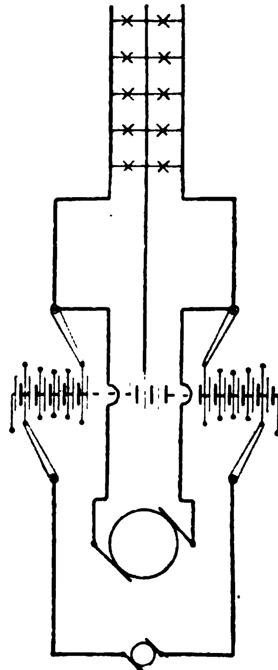


Fig. 175.

Eine solche Schaltungsweise zeigt die Fig. 175 (Schu.). Die Akkumulatoren werden je nach Bedarf zu- oder abgeschaltet. Diese Verrichtung kann gleichfalls wieder selbstthätig durch eine der im 10. Vortrag besprochenen automatischen Einstellvorrichtungen in Verbindung mit einem Zellenschalter (anstelle des Anlafswiderstandes) ausgeführt werden.

Den vorstehenden Betrachtungen wollen wir noch einen kurzen Überblick über den „gegenwärtigen Stand der elektrischen Kraftübertragung" hinzufügen, dessen Daten wir dem „Glück auf" (1897) bezw. der Revue universelle des mines entnehmen:

Einige der bedeutendsten im Betriebe befindlichen Kraftübertragungen auf grofse Entfernungen sind:

1) Vom Niagara nach Buffalo: 10000—50000 PS. auf 40 km bei 11000—20000 Volts (Dreiphasenstrom),
2) Fresno (Kalifornien): 1400 PS. auf 156 km bei 11000 Volts (Dreiphasenstrom),
3) Brescia (Italien): 700 PS. auf 20 km bei 15000 Volts (**Gleichstrom; die hohe Spannung wird durch Hintereinanderschaltung mehrerer Dynamomaschinen erzielt**),
4) **Zürich**: 450 PS. auf 25 km bei 13000 Volts (Dreiphasenstrom).

Recht interessant sind die Anlagen der „Oberschlesischen Elektrizitäts-Werke", und zwar für uns um so mehr, als sie auch Energie an Gruben (z. B. Königsgrube b. Königshütte) abgeben. Es sind zwei Zentralstationen, Zaborze und Chorzow, so in der Mitte des Absatzgebietes gelegen, dafs die gröfste Entfernung einer Konsumstelle von einer Zentrale nicht mehr als 12 km beträgt. Für Kraft- und Lichtzwecke wird Drehstrom von 6000 Volts Spannung erzeugt, der in unterirdischen Kabeln den Verbrauchsstellen zugeführt und dort auf 500 bezw. 120 Volts heruntertransformiert wird. Die Ausdehnung des Hoch-

spannungsnetzes beträgt 115 km. — Für den Straſsenbahnbetrieb liefern die Zentralen Strom von 500—525 Volts für ein Gleichstrom-Leitungsnetz von ca. 50 km Ausdehnung, dessen Leitungen aus blanken Kupferdrähten bestehen, die an hölzernen Masten befestigt sind.

„Die praktischen Resultate haben die Möglichkeit erwiesen, elektrische Kraft auf mehr als 80 km Entfernung bei 2000 Volts Spannung zu übertragen. Theoretisch ist eine solche bis 160 km möglich; aber man muſs dann mit Spannungen rechnen, die in der Praxis noch nicht angewandt und vielleicht nicht mit der nötigen Sicherheit der Leitung auszuführen sind."

Hinsichtlich der bei den verschiedenen Übertragungsarten zu verwendenden „Kupfergewichte der Leitungen" dient folgende vergleichende Zusammenstellung, bei der vorausgesetzt ist, daſs in allen Fällen dieselbe Maximalspannung, Stromstärke und Leitungslänge, sowie derselbe Kraftverlust vorhanden sind:

Gleichstrom					100,
Einphasen-Wechselstrom					200,
Zweiphasen-Wechselstrom		bei	4	Drähten	200,
„	„	„	3	„	291,
Dreiphasen-	„	„	3	„	150 Gewichtseinheiten.

Vierzehnter Vortrag.

Der Wechselstrom und die Wechselstrommaschinen. Innen- und Auſsenpolmaschinen. Periodenzahl. Wechselstrommotoren.

Um das Wesen des Wechselstromes etwas mehr zu ergründen, bedienen wir uns wieder unseres kleinen Maschinenmodells (von Hauptmann u. Co.-Leipzig-Stötteritz bezw. Max Kohl-Chemnitz (Fig. 176)). Es trägt die Achse des Ankers auſser dem Kollektor auf dem entgegengesetzten Ende noch vier gut von einander isolierte Metallringe; auf jedem derselben schleift eine Metallbürste. Wir entnehmen den Strom von zweien dieser Ringe *1* und *4* und führen die beiden Leitungsdrähte zu unserem Demonstrationsgalvanometer. Trotz kräftigen Andrehens der Maschine gibt das Instrument keinen Ausschlag. Wie kommt das? Darauf antwortet uns die Stromkurve des Wechselstromes in Fig. 62b. **Der Wechselstrom ändert beständig seine Richtung im Leitungsdrahte,** und zwar geschieht das um so öfter in einer Sekunde, je schneller

man den Anker sich drehen läſst. Unsere Maschine hat ein magnetisches Feld von zwei Polen. Bei jeder Umdrehung verläuft der Strom nach Fig. 62b; es findet ein zweimaliger Wechsel der Stromrichtung, kurz **zwei Wechsel**, statt. Bei einer Umdrehungszahl von 2000 pro Min. hat man demnach 4000 Wechsel pro Min. Die Galvanometernadel erhält 4000 Stöſse entgegengesetzter Richtung. Sie hat daher keine Zeit, dem einen oder anderen dieser Impulse zu folgen: sie bleibt stehen. — Wir leiten nun unseren „Wechselstrom“ in ein Telephon gröſseren Modelles. Es entsteht sofort ein lautes, schnarrendes Geräusch. Denn durch den Wechselstrom wird der Magnetstab des Telephons fortwährend (4000 mal pro Min.) umpolarisiert; die Platte wird infolgedessen beständig angezogen und abgestoſsen; daher das Schnarren. Wir haben damit ein Mittel gewonnen, uns von dem Vorhandensein eines Wechselstromes zu überzeugen.



Fig. 176.

Nach Fig. 62b ist der Stromverlauf bei unserer zweipoligen Maschine von der Art, daſs die Stromstärke (bezw. Spannung) von 0 an wächst, bei 90° ein Maximum erreicht und bei 180° wieder auf 0 herabsinkt; jetzt nimmt sie wieder zu, jedoch in **entgegengesetzter** Richtung — was durch Abtragen nach **unten** ausgedrückt wird —, um bei 270° abermals ein Maximum und bei 360° den Wert Null zu erreichen. Von da an wird sich das Kurvenbild genau (wie von 0° an) wiederholen. Die Zeit, welche für einen solchen Stromlauf erforderlich ist, nennt man eine **Periode.** Sie hat zwei Wechsel. In unserem Falle, wo die Maschine 2000 Umdrehungen pro Minute macht, hat man 2000 Perioden (oder 4000 Wechsel) pro Minute. Die Maschinen der Praxis werden jedoch meistens und zwar immer, wenn sie Strom für Beleuchtungszwecke hergeben sollen, für 3000 Perioden oder 6000 Wechsel gebaut. Diese Wechselzahl ist durchaus nötig, weil sonst das doch stattfindende Steigen und Sinken des Stromes zwischen 0 und Maximum dem Auge durch Flackern der Lampen in unangenehmer Weise bemerkbar werden würde. Sollte unsere kleine Maschine einen Wechselstrom von 3000 Perioden pro Minute oder, **wie meistens angegeben wird, von 50 Perioden pro Sekunde**, liefern, so müſste sie 3000 Umdrehungen pro Minute machen. **Die Anzahl der Pole (p) multipliziert mit der Umdrehungszahl (u) pro Minute giebt die Zahl der Wechsel pro Minute.**

Eine so hohe Umdrehungszahl, wie die vorhin genannte, ist bei den gröfseren Maschinenmodellen nicht gut möglich. Diese müssen unbedingt mit geringerer Tourenzahl laufen; sie werden meistens mit der Dampfmaschine direkt gekuppelt. Wie wird man in diesem Falle die für Beleuchtungsanlagen erforderlichen 3000 Perioden oder 6000 Wechsel pro Minute erhalten? Ein Blick auf Fig. 70 giebt uns die Antwort darauf. Bei der dort skizzierten **vierpoligen** Maschine finden während einer Umdrehung schon **vier** Wechsel statt; die betreffende Dynamo braucht also nur noch 1500 Umdrehungen pro Minute zu machen. **Durch Erhöhung der Polzahl kann demnach die Tourenzahl herabgesetzt werden, ohne dafs die Wechselzahl 100 pro Sekunde kleiner wird, wenn man nur dafür sorgt, dafs das Produkt $p \cdot n = 6000$ bleibt.** Von diesem einfachen Auskunftsmittel macht man, wie wir an den vorzuführenden Wechselstromtypen noch näher sehen werden, ausgiebigen Gebrauch.

Bei den Gleichstrommaschinen werden die Feldmagnete durch den in dem Anker erzeugten Strom selbst oder einen Teil desselben erregt (dynamoelektrisches Prinzip). Das geht bei den Wechselstrommaschinen nicht mehr. Denn da der deren Anker entnommene Strom beständig seine Richtung ändert, so würden ja die Magnete fortwährend umpolarisiert werden; von der Erzeugung eines starken Stromes könnte keine Rede sein. **Es ist daher für die Erregung der Feldmagnete einer Wechselstrommaschine auf alle Fälle Gleichstrom erforderlich.** Dieser mufs durch eine besondere Gleichstromdynamo erzeugt und dann den Feldmagneten zugeführt werden. Man kann dabei jedoch auf zweierlei Weise verfahren: Man setzt Gleichstrom- und Wechselstromgenerator auf eine gemeinsame Welle bezw. läfst **beide** Maschinen von **derselben** Welle mittelst Riemenübertragung antreiben, oder man läfst die „**Erregermaschine**“ durch eine besondere Dampfmaschine in Bewegung setzen. Die erste Methode schliefst den Nachteil in sich, dafs von etwaigen Tourenschwankungen der Antriebsmaschine nicht nur die Wechselstrommaschine sondern auch die Erregermaschine betroffen wird. Dies hat wegen der damit naturgemäfs verbundenen Verringerung der Feldstärke der Gleichstromdynamo eine Abnahme der Erregung der Feldmagnete des Wechselstromgenerators und somit weiteres Heruntergehen der Wechselstromspannung zur Folge. Sind solche Zwischenfälle durchaus auszuschliefsen oder ist eine gröfsere Anzahl von Wechselstromdynamos (etwa in einer Lichtzentrale) aufgestellt, so greift man lieber zu der zweiten Methode: Entnahme des Erregerstromes von besonders angetriebenen Dynamomaschinen.

An unserem Modelle sehen wir freilich keins der beiden Verfahren

zur Verwendung gebracht. Es ist nämlich eine „selbsterregende Wechselstrommaschine“. Wir müssen uns erinnern, dafs unser Maschinchen mit „Nebenschlufsschaltung“ versehen ist und am anderen Ende einen Gleichstromkollektor hat. Ein Teil — aber auch nur ein Teil — des in dem Anker erzeugten Wechselstromes wird auf diese Weise in Gleichstrom umgewandelt und zur Erregung der Feldmagnete benutzt. Diese Anordnung, welche uns gestattet, unseren Apparat sowohl als Gleichstrom- als auch als Wechselstrom-Erzeuger zu benutzen, ist, wie leicht einzusehen ist, nur bei **Nebenschlufs**maschinen möglich.

Wir entnehmen unseren Wechselstrom zweien je auf einem Ringe schleifenden Bürsten. Diese Art der Stromentnahme ist im allgemeinen die für Wechselstrommaschinen typische. Sie bietet den Gleichstrommaschinen gegenüber den Vorteil, dafs die Übergangsverluste an den Bürsten äufserst geringe sind, da diese ja dauernd auf **einer** Metallfläche schleifen. Trotzdem ist an unserem Modell der Nachteil nicht beseitigt, dafs die **den Strom von hoher Spannung führenden Teile rotieren.** Dies kann bei Spannungen von 2000 bis 8000 Volts recht unangenehm fühlbar werden, da die Isolation grofse Schwierigkeiten bietet und die dauernde Aufrechterhaltung derselben auch nicht leicht ist. Den dadurch entstehenden Unannehmlichkeiten geht man aus dem Wege, indem man den Anker still stehen und die Feldmagnete rotieren läfst. **Wir haben auf solche Weise zwei Haupttypen von Wechselstromgeneratoren zu unterscheiden, nämlich Aufsenpolmaschinen und Innenpolmaschinen.**

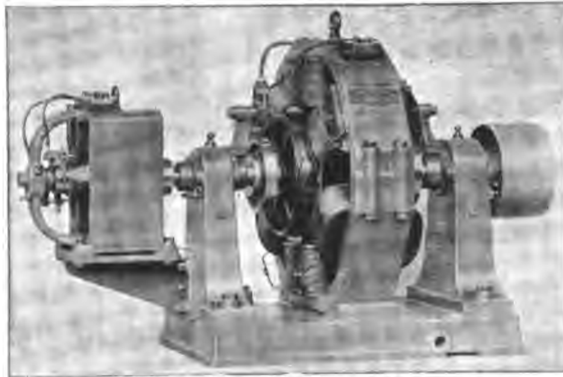


Fig. 177.

Die in Fig. 177 abgebildete „**Aufsenpolmaschine**“ von Schu.-N. hat sechs Pole; der Anker mufs demnach 1000 Umdrehungen pro Min. machen, falls ein Wechselstrom von 50 Perioden pro Sek. erzeugt werden soll.

Die zweipolige „Erregerdynamo“ (links) sitzt mit dem Wechselstromgenerator auf gemeinsamer Achse. Der in ersterer erzeugte **Gleichstrom** wird den Feldmagneten durch **Klemmen** zugeführt (oben sichtbar). Der **Wechselstrom** wird durch Bürsten von zwei Schleifringen abgenommen.

Die in Fig. 178 dargestellte **„Innenpolmaschine“** derselben Firma hat am Umfange eines grofsen Rades 48 Pole. Diese werden durch die auf gemeinsamer Achse sitzende **vierpolige** Gleichstromdynamo er-

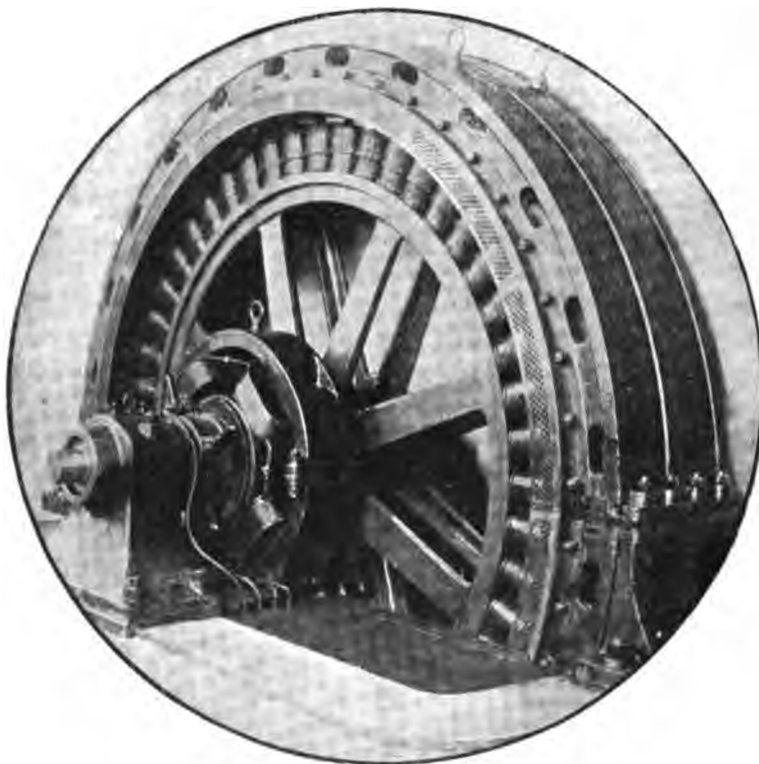


Fig. 178.

regt. Hier wird demnach der **Erregerstrom** durch **zwei Schleifringe** zugeführt, während der **Wechselstrom** durch **zwei Klemmen** entnommen wird. Die Wickelungen des feststehenden Ankers sind hier durch Schutzbleche verdeckt, mithin nicht sichtbar. Die Maschine mufs $\frac{6000}{48} = 125$ Umdrehungen pro Minute machen. Sie leistet 330 Kilowatt. Dafs bei dem feststehenden Anker die den Strom von hoher Spannung führenden Wickelungen viel besser isoliert werden können und bleiben, ist wohl leicht einzusehen.

Die „Innenpolmaschine“ (Fig. 179) hat **60** Pole. Sie braucht daher zur Erreichung einer Wechselzahl 100 pro Sek. nur 100 Umdrehungen pro Minute zu machen. Wollte man als Erregermaschine dieselbe vierpolige Gleichstromdynamo, die Fig. 178 zeigt, nehmen, so würde wegen der kleineren Tourenzahl die Spannung des Erregerstromes zu

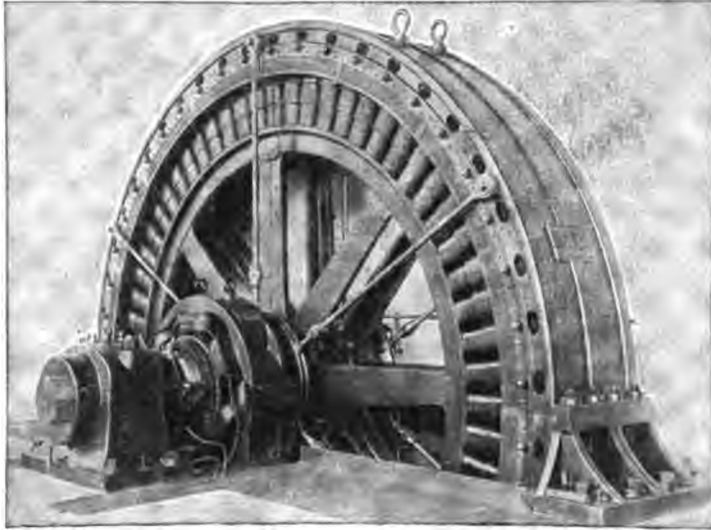


Fig. 179.

klein ausfallen. Man mufste aus diesem Grunde die Polzahl auch für die Erregermaschine erhöhen. Diese hat jetzt **sechs** Pole. Man kann sagen: Sitzen Wechselstrommaschine und Erregermaschine auf gemeinsamer Welle, so wächst mit der Polzahl der ersteren auch die der letzteren; damit ist eine Erniedrigung der Tourenzahl beider verknüpft.

Treibt man dagegen die Erregermaschine mit besonderer Dampfmaschine an, so gelten diese Abhängigkeitsverhältnisse nicht.

Es sei hier noch bemerkt, dafs der Erregerstrom bei kleineren Generatoren 2—3 %, bei gröfseren 1—2 % der Gesamtenergie ausmacht.

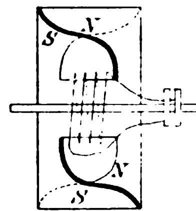


Fig. 180.

Man ist in dem Bestreben, die rotierenden Teile von stromführenden Teilen zu befreien und dadurch eine höhere Betriebssicherheit zu erreichen, noch weiter gegangen. Das „Magnetrad“ wird mit einer gewissen Anzahl von „Polhörnern“ versehen, und zwar an beiden Seiten. Diese Polhörner greifen abwechselnd in einander. In den Zwischenraum legt man eine einzige Spule, die den Strom aller-

dings auch noch durch zwei Schleifringe erhält (Fig. 180. Schu., Oerlikon, A. E. G.). Dadurch wird der linke Teil des Magnetrades ein Süd- und der rechte ein Nordpol. Durch das Ineinandergreifen der links- und rechtsseitigen Polhörner wird wieder das Abwechseln von Nord- und Südpol auf dem Rade erzeugt. Fig. 181 läfst uns eine Innenpolmaschine in dieser Ausführung sehen (Friedenshütte O. S.).

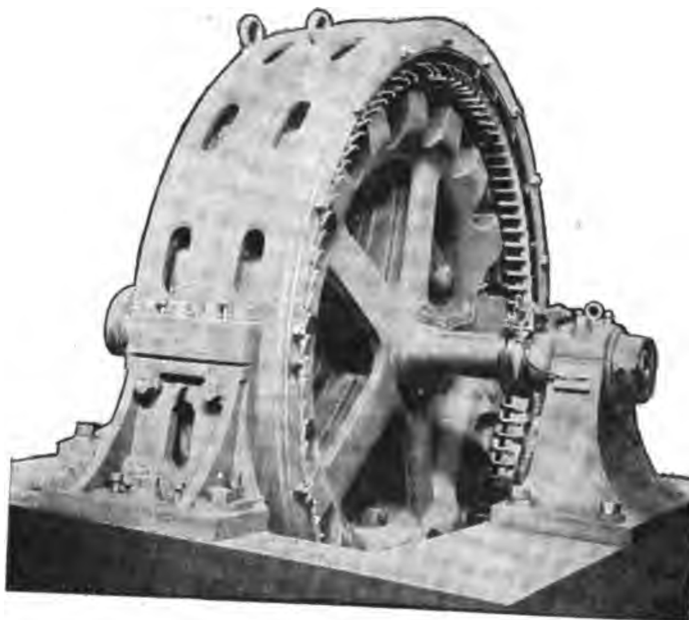


Fig. 181.

Bei den Maschinen von Ganz u. Co., Oerlikon etc. dreht sich nur das Magnetrad („unipolare Maschine", im Gegensatz zu den „multipolaren Maschinen"). Die einzige die Erregung besorgende Spule ist in der Mitte des feststehenden Ankers gleichfalls unverrückbar gelagert. **Infolge dessen fallen Bürsten und Schleifringe gänzlich fort.** Der zur Erregung erforderliche **Gleichstrom** wird der Spule durch **Klemmen** zugeführt und ebenso wird **der Wechselstrom** durch **Klemmen** abgenommen. Der Wechselstrom wird bei diesen Maschinen — **etwas** abweichend von der Erzeugungsart bei den multipolaren — dadurch erzeugt, dafs infolge der Rotation der Polhörner im magnetischen Felde Stellen verschiedener Feldstärke erzeugt werden. Die dadurch hervorgerufene Änderung der Kraftlinienzahl in dem Ankereisen hat eine Induktion von Strömen in den Ankerspulen zur Folge. (Eine solche Maschine befindet sich in Petschkowitz O. S.)

Der durch diese „Einphasen-Wechselstrommaschinen“ erzeugte „Einphasen-Wechselstrom“ eignet sich vorzüglich für Beleuchtungsanlagen, bei denen Stromlieferungen auf gröfsere Entfernungen vorkommen. Man wird zu dem Zwecke Strom von hoher Spannung (z. B. 2000 V.) auf der Primärstation erzeugen und diesen an den Verbrauchsstellen in solchen von niedriger Spannung (110 V.) „transformieren“.

Anders liegen jedoch die Verhältnisse, wenn der Einphasen-Wechselstrom auch für Motorenbetrieb verwendet werden soll. So ein Einphasen-Wechselstrommotor wird im wesentlichen nicht anders aussehen, als ein Generator derselben Stromart. Der Wechselstrom wird dem feststehenden Anker zugeführt und die Magnetwickelung des Magnetrades wird durch Gleichstrom, den man beispielsweise einer Accumulatorenbatterie entnehmen könnte, gespeist werden. Das in diesem Falle innen gedachte Magnetrad wird sich dann in Bewegung setzen, d. h. die Maschine läuft als Motor. Seine Tourenzahl (u) wird eine unveränderliche sein und von der Polzahl (p) seines Magnetfeldes und der Wechselzahl (n) des Stromes abhängen ($p \cdot u = n$). Die Tourenzahl u mufs der Motor unbedingt erst erreichen, ehe er vorschriftsmäfsig anlaufen kann. Man bezeichnet ihn als **„Synchronmotor“**. Man mufs den Motor erst auf irgend eine Weise (durch Antrieb von der Dampfmaschine aus, durch einen besonderen Asynchromotor, Gleichstrommotor u. dgl.) auf diejenige Tourenzahl bringen, die er haben müfste, wenn er als Generator laufend einen Strom von der gleichen Wechselzahl liefern sollte, den der Betriebsstrom hat. Mit Belastung kann der Synchronmotor nicht anlaufen. Aber auch wenn er einmal in „Trapp“ oder „Takt“ gebracht worden ist, liegt immer noch die Gefahr vor, dafs er plötzlich stehen bleibt, falls infolge von Überlastung die Umdrehungszahl u sinkt und dadurch der Synchronismus gestört wird. Ein dem Vorstehenden nach Möglichkeit angepafster Versuch möge uns das Gesagte etwas eingehender erläutern.

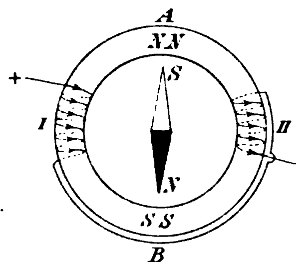


Fig. 182.

Wir entnehmen den Ringen *1* und *4* unserer Maschine Fig. 176 Wechselstrom von 4000 Wechsel pro Min. (Die Maschine mufs dann 2000 Umdrehungen machen, was sich bei einiger Übung auch leicht erreichen läfst.) Diesen Strom leiten wir in zwei hintereinander geschaltete Spulen *I* und *II*, die sich auf einem Eisenringe befinden. (Fig. 182. Man sehe auch Fig. 189 des 15. Vortr. und denke sich das zweite diametral gegenüberstehende Spulenpaar entfernt.) Im Innern dieses horizontal aufzustellenden Ringes ist eine Magnetnadel,

welche die Feldmagnete darstellen soll, um eine vertikale Achse drehbar. Es entstehen bei *A* und *B* Folgepole, und zwar werden diese Stellen innerhalb einer Minute 4000 Mal umpolarisiert. Man hat es mit einem sogen. „**pulsierenden magnetischen Felde**" zu thun. Wir sehen, daſs die Nadel nicht in Umdrehung gerät, wie lange wir auch den Wechselstrom einleiten mögen. Erst wenn wir ihr mit dem Finger einen Stoſs erteilen und sie dadurch auf die erforderliche Tourenzahl bringen, bleibt sie auch während der ganzen Zeit des Stromzuflusses in Bewegung. Wird sie nun auf irgend eine Weise belastet — etwa momentan am Rotieren verhindert — so bleibt sie leicht stehen und „geht" nicht eher wieder an, als bis wieder ein neues „Anlassen" erfolgt ist. Genau so verhält sich, wie gesagt, auch der eigentliche Einphasen-Synchromotor.

Aus diesem Grunde ist die Verwendung des Einphasenstromes in der Hauptsache auf Beleuchtungsanlagen beschränkt. Für den Kraftbetrieb finden wir ihn in dem Zwei- bezw. Dreiphasen-Wechselstrom, dem die nächsten Zeilen gewidmet sind.

Fünfzehnter Vortrag.

Der Dreiphasen- oder Drehstrom. Die Drehstrom-Maschinen.

Indem wir an den letzten Versuch des 14. Vortrages (Fig. 182) erinnern, ändern wir das Experiment jetzt dahin ab, daſs wir noch ein zweites Spulenpaar auf dem Eisenringe anordnen (Fig. 185) und

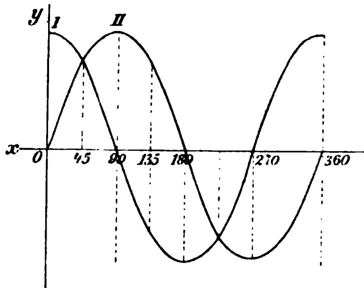


Fig. 183.

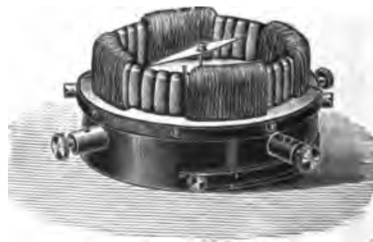


Fig. 184.

in diesen einen zweiten Wechselstrom einleiten. Während der Wechselstrom *II* den Klemmen, bezw. Ringen *1* und *3* entnommen wird, stammt der Wechselstrom *I* aus *2* und *4*. (Man sehe auch das Schaltungsschema der Figur 188.) Den zeitlichen Verlauf der beiden

Ströme schildert uns die Fig. 183. Dadurch dafs der zweite Strom an einer Stelle des Ankers abgenommen wird, die von der Stromabnahmestelle des ersten um 90° entfernt ist, haben wir erreicht, dafs, wenn Strom *II* die Stärke 0 hat, Strom *I* sein Maximum hat und umgekehrt. Dies ist bei 0°, 90°, 180°, 270° und 360° der Fall. Bei 45°, 135°, 225° und 315° sind dagegen beide gleich stark und zwar bei 45° und 225° von derselben, bei 135° und 315° von entgegengesetzter Richtung. Die Thatsache, dafs die Ströme jederzeit in Bezug

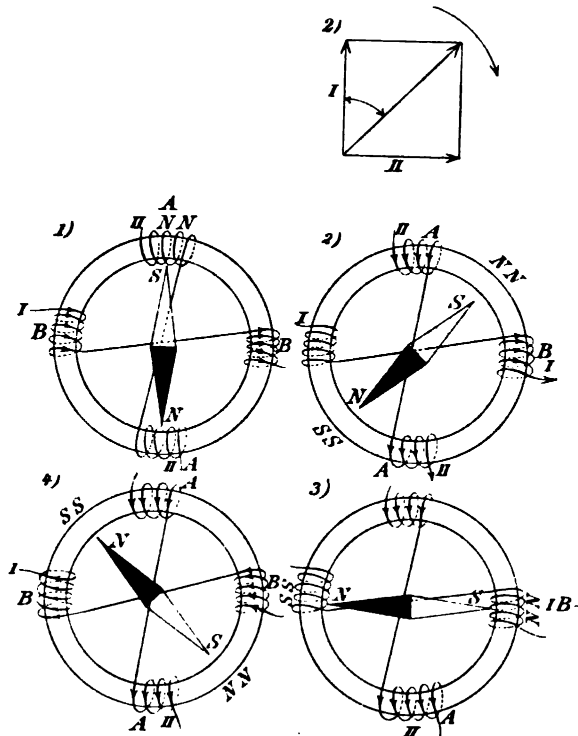


Fig. 185.

auf Stärke und Richtung von einander abweichen, drückt man dadurch aus, dafs man von ihnen sagt: **sie haben verschiedene Phase.** Unsere Ströme haben eine **Phasenverschiebung** von 90°. Wir führen in unsere vier Leitungen, die wir den roten und grünen Spulenpaaren des Modelles entsprechend (Fig. 184) in verschiedenen Farben wählen, **zweiphasigen Wechselstrom.** Zur Zeit 0 ist der Strom $II = 0$, Strom $I =$ Max.; die Spulen *AA* werden daher nicht, die *BB* dagegen von dem stärksten Strom *I* durchflossen. Dadurch werden bei *AA* in dem Eisenringe Folgepole *NN* bezw. *SS* erzeugt, und die Magnetnadel stellt sich in

der gezeichneten Richtung (hier vertikal) ein (185, *1*). Nehmen wir bei unserer Maschine wieder 2000 U. pro Min. an, so hat eine Periode die Dauer von $\frac{3}{100}$, ein Wechsel eine solche von $\frac{3}{200}$ Sek. Nach $\frac{3}{800}$ Sek. (45°) sind beide Ströme gleich stark, d. h. beide Ströme suchen im Ringe (185, *2*) Folgepole zu erzeugen und zwar *I* bei *AA*, *II* bei *BB*. Die Folge davon ist die in 185, *2* angedeutete **Verschiebung der Pole um 45°; die Nadel folgt dieser Wanderung.** Nach $\frac{3}{400}$ Sek. (90°) sind die Spulen *BB* stromlos, *AA* führen den stärksten Strom

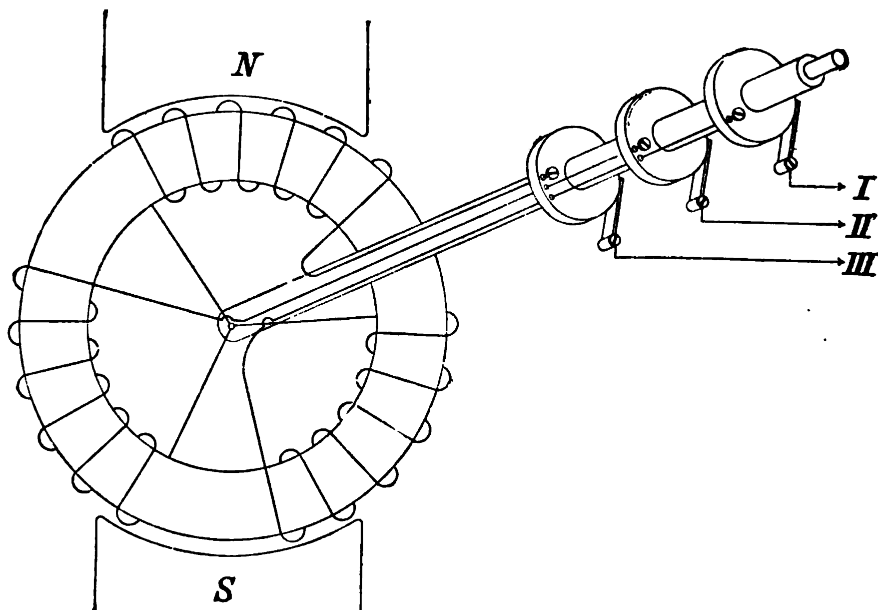


Fig. 186.

(185, *3*). Es werden daher Pole in *BB* erzeugt; die Nadel nimmt demgemäfs diese Richtung an. Nach $\frac{3}{400} + \frac{3}{800} = \frac{9}{800}$ Sek. (135°) sind allerdings beide Ströme wieder gleich stark; es hat jedoch *I* seine Richtung gewechselt, was die Erzeugung der Folgepole an den in 185, *4* dargestellten Stellen und damit eine abermalige Drehung der Nadel um 45° zur Folge hat. Würden wir den Stromverlauf nach Fig. 183 während einer ganzen Periode verfolgen und die Nadelstellungen nach Anleitung der Fig. 185 weiter aufzeichnen, so würden wir finden, dafs die Nadel während dieser Zeit eine ganze Umdrehung ausführt, genau wie der Dynamoanker. Diese Drehung ist durch

ein im Eisen wanderndes oder **rotierendes Feld** hervorgerufen worden. Wir führen den Versuch jetzt wirklich aus und finden thatsächlich, dafs die **Nadel sich sofort** nach Beginn der Stromlieferung — **ohne dafs sie gestofsen wird** — in schnell rotierende Bewegung setzt. Halten wir sie einen Augenblick an, so setzt sie sich doch leicht wieder in Bewegung. Diese von einem **Zweiphasenstrom** betriebene Motorart hat also gegenüber dem **Einphasen-Synchronmotor** grofse Vorteile. Noch besser wird der Motor aber, wenn wir nicht nur zwei Wechselströme, sondern deren **drei** mit einander verketten und zu einem Ringe führen, der **drei** Spulenpaare trägt. Die Rotation geht dann noch glatter und gleichmäfsiger von statten: wir haben auf solche Weise einen **Drehstrommotor** (hier Synchronmotor) im Prinzip konstruiert.

Diesen werden wir später noch genauer kennen lernen. Zunächst wollen wir uns mit der Frage beschäftigen, wie wir den **Dreiphasenstrom** erzeugen. Auf dem Anker unserer kleinen Maschine sind die Spulen auch noch in drei Abteilungen angeordnet. Denken wir uns für einen Augenblick jede dieser Abteilungen durch eine Spule vertreten, so zeigt Fig. 186 das Wickelungsschema. Danach sind die Spulen um 120° gegen einander verschoben. Die beiden Enden jeder Spule müssten auf je zwei Ringen endigen, so dafs sechs Ringe erforderlich wären. Dies ist jedoch nicht nötig, wie die Betrachtung der Fig. 187 (unterste Kurvenreihe) uns lehrt. Die aus den drei Spulen erhaltenen drei Ströme sind, ihrer Anordnung auf dem Anker gemäfs, um 120° in ihrer „Phase" verschieden. Ist $I = 0$, so hat *II* sein Maximum nach unten noch nicht ganz (es fehlen 30°) erreicht und *III* hat es von der entgegengesetzten Seite her um 30° überschritten. Jedenfalls tritt hier **niemals**, wie beim Einphasenstrom, der Fall ein, dafs

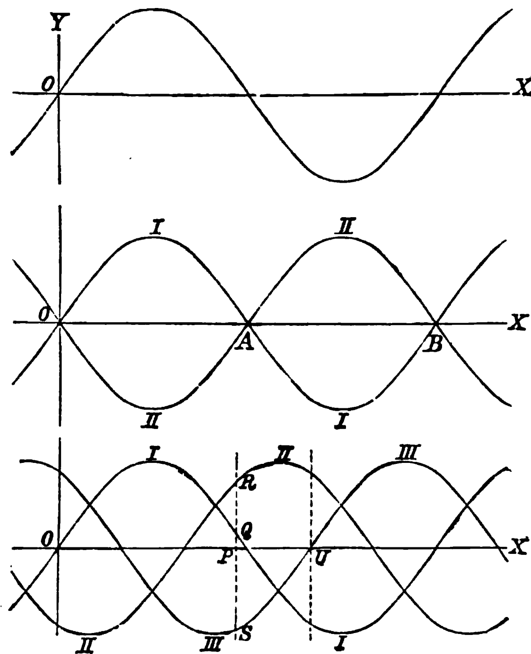


Fig. 187.

die Leitung — und sei es auch auf noch so kurze Zeit — stromlos ist. Dies ist aber nicht die einzige Eigentümlichkeit, die übrigens auch schon dem Zweiphasenstrom zukommt. **Die Hauptsache ist vielmehr die, dafs zu jeder Zeit die Summe aller Ströme, unter Berücksichtigung der Richtung durch Einführen von + und —, gleich Null ist.** Nach Fig. 187 hat der Strom I in P die Stärke $+PQ$, $II = +PR$ und $III = -PS$. Die Messung dieser Strecken mit dem Zirkel ergiebt, dafs $PQ + PR + (-PS) = 0$ oder $PR + PR = PS$. In 0 ist beispielsweise $I = 0$, II und III sind gleich aber entgegengesetzt. Die Ströme finden demnach jederzeit in einer der drei Leitungen oder auch in zweien ihren Rückweg. **Eine besondere Rückleitung ist nicht erforderlich.** Wir können daher die Enden der drei Spulen einfach in einem Punkte vereinigen, wie Fig. 186 zeigt. **Es sind mithin für die Fortleitung des dreiphasigen Wechselstromes oder Drehstromes nur drei Leitungsdrähte nötig.** Wir entnehmen den Drehstrom aus den Ringen *1, 2, 3* unserer Maschine. Das hierauf bezügliche Schaltungsschema (Max Kohl-Chemnitz) ist durch die Fig. 188 wiedergegeben.

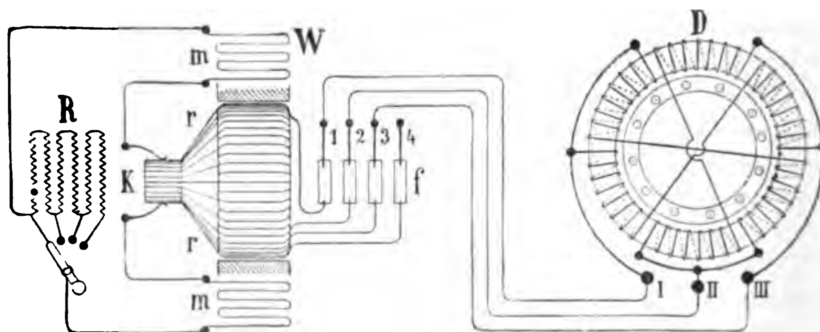


Fig. 188.

m, *m* ist die Magnetwickelung, die ihren Strom von dem Kollektor K erhält. Der Gleichstrom kann durch den eingeschalteten Regulierwiderstand R auf die gewünschte Stärke gebracht werden. Die Spulenenden des Ankers *r* führen einerseits zu dem Kollektor K und andererseits in der geeigneten Gruppierung bezw. Schaltung zu den Ringen *1, 2, 3, 4*. Von *1, 2, 3* wird der Drehstrom abgenommen und zu den Klemmen *I, II, III* des Drehstrommotors geleitet, dessen Modell wir bald vorführen werden.

Auch bei den Drehstromgeneratoren kann man von Aufsen- und Innenpolmaschinen sprechen. Unsere Maschine gehört selbstverständlich zu dem ersten Typus. Aus bereits früher erörterten Gründen ist dies

jedoch durchaus nicht die häufigere Art; im Gegenteil, **alle gröfseren Drehstrommaschinen** sind **Innenpolmaschinen.**

Diese bestehen aus dem äufseren, feststehenden Anker *R* und dem rotierenden Polstern *M* (Fig. 193). Beide sind nicht massiv, sondern bestehen zur Vermeidung von Wirbelströmen etc. aus zahlreichen Blechen, die durch Papierschichten gut isoliert sind. Der Anker trägt eine grofse Anzahl von Nuten; jedem Pole des Polsternes stehen immer drei Nuten gegenüber. Wir denken uns vorläufig in die Nuten *1* und *4* (Fig. 189a) eine Spule (*a*) aus Kupferschienen, Kupferlitze oder -Drähten — je nach der zu erzielenden Stromstärke und Spannung — gelegt. Bei dem angegebenen Drehungssinn und der gezeichneten Stellung der Pole wird in der Spule ein Strom in der durch den Pfeil bezeichneten

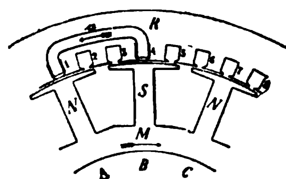


Fig. 189a.

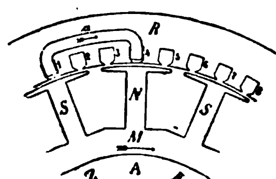


Fig. 189b.

Richtung fliefsen. Steht dem Nut *1* nicht der Nordpol sondern der Südpol gegenüber, so wird ein Wechselstrom von momentan engegengesetzter Richtung erzeugt (Fig. 189b). Legen wir nun in *1* und *3*, *4* und *6*, *7* und *9*, *10* und *12* etc. Spulen, so werden die erzeugten Ströme in den Spulen $a, b, c \ldots$ in jedem Augenblick so fliefsen, dafs sie in $a, c, e, g \ldots$ und ebenso in $b, d, f \ldots$ unter sich gleichgerichtet, in je zwei benachbarten Spulen, z. B. *a* und *b*, *f* und *g*, jederzeit entgegengesetzt gerichtet sind (Fig. 190). Sollen alle Spulen hinterein ander geschaltet werden, um so einen einzigen einphasigen Wechselstrom von hoher Spannung zu erhalten, so darf man nicht das Ende der Spule *a* mit dem Anfange von *b* etc. verbinden, sondern man mufs den Anfang der Spule *a* mit dem Anfang von *b*, das Ende von *b* mit dem Ende von *c* in leitende Verbindung setzen;

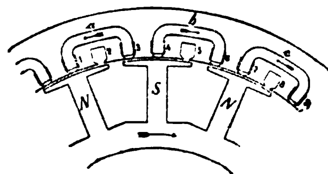


Fig. 190.

dadurch erreicht man, dafs der Strom jederzeit in allen Spulen in derselben Richtung fliefst. In Fig. 191 ist diese Spulenschaltung schematisch für einen Einphasenstromgenerator durchgeführt. Der Erregerstrom wird durch die Bürsten B_1 und B_2 den Schleifringen zugeführt, fliefst von da aus um die Pole $B, B, \ldots M$ des Polsternes *S* und erzeugt so das

nötige magnetische Feld. Die Verbindung der Spulen *a* bis *m* ist ebenfalls angedeutet. Die Enden von *a* und *m* sind an die Klemmen

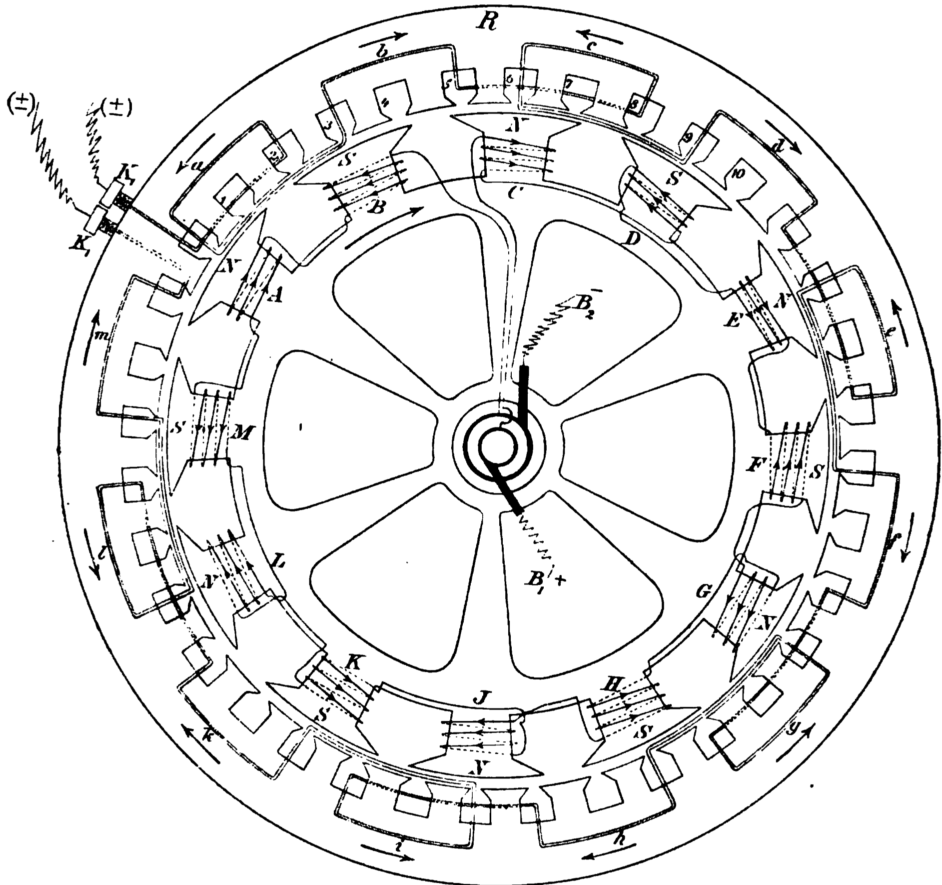


Fig. 191.

K_1 und K_2 gelegt, an denen der hochgespannte Einphasen-Wechselstrom abgenommen wird.

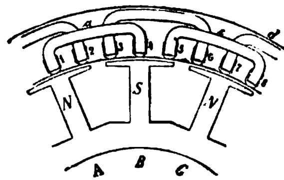


Fig. 192.

Um den Anker für eine Drehstrommaschine zu bewickeln, nehmen wir auch die Nuten *2, 5, 8*... zu Hülfe und legen in *1* und *4*, *3* und *6*, *5* und *8* je eine Spule (Fig. 192). Wir sehen, daſs bei dieser Anordnung jedem Pole je drei Spulen gegenüberstehen. In diesen drei Spulen treten drei verschiedene Wechselströme auf, die in ihrer Phase stets je um 120° verschieden sind. Die Spulen *a, d, g, k, n, q* ... (Fig. 193) werden vermöge ihrer gleichen

Stellung zu den Polen in jedem Augenblicke von Strömen gleicher Phase durchflossen; sie werden alle (nach Schema Fig. 191) hinter einander geschaltet und liefern so den einen hochgespannten Wechselstrom (punktiert *I*). Dasselbe machen wir auch mit der Spulenreihe *b, e, h, l, o, r*... (stark ausgezogen *II*) und *c, f, i, m, p, s*... (Doppellinie *III*) und erhalten so drei Wechselströme, deren gleichzeitiger Verlauf in Fig. 187 darge-

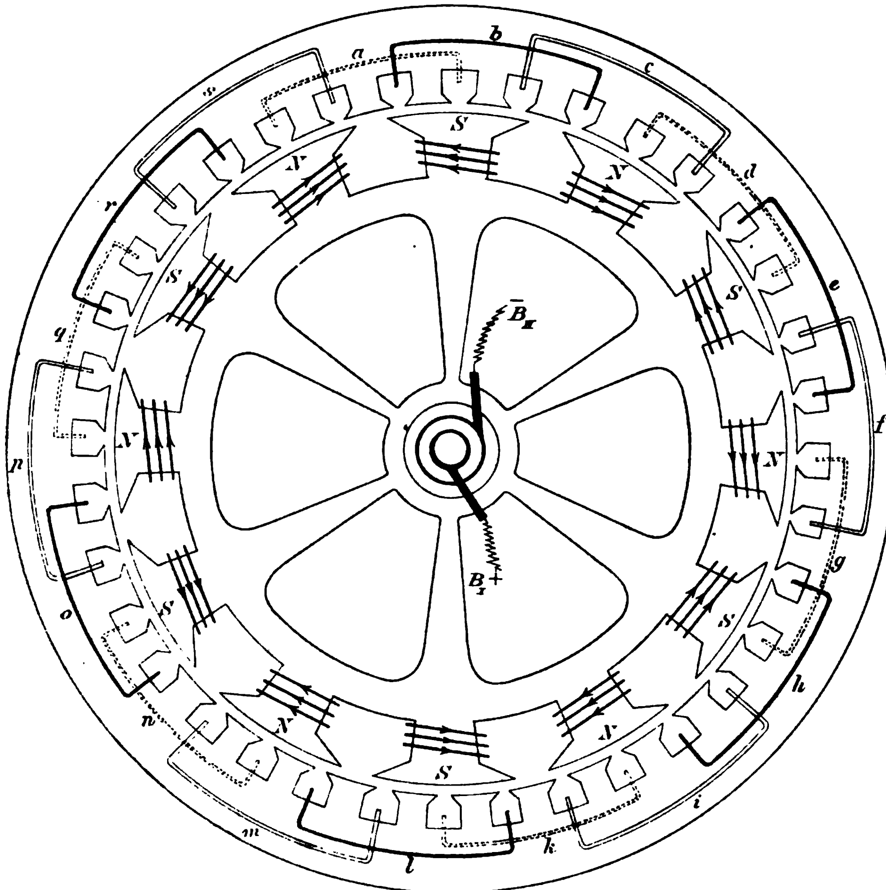


Fig. 193.

stellt ist. Es fragt sich noch, wie wir diese drei Stromspulenreihen mit einander verbinden*). Mit Berücksichtigung der Thatsache, daſs die Summe der Ströme jederzeit = 0 ist, sind zwei Schaltungen möglich. Wird nämlich jede Spulenreihe wieder durch eine einzige Spirale dar-

*) In der Fig. 193 konnte diese Verbindung leider nicht durchgeführt werden, da die Übersichtlichkeit darunter gelitten haben würde.

gestellt, so kann man *I*, *II* und *III* entweder nach Fig. 194 oder nach Fig. 195 schalten. Im ersteren Falle sind die drei Enden in einem Punkte vereinigt, die Anfänge führen zu je einer Klemme — **Sternschaltung.** Im zweiten Falle sind die Anfänge und Enden der benach-

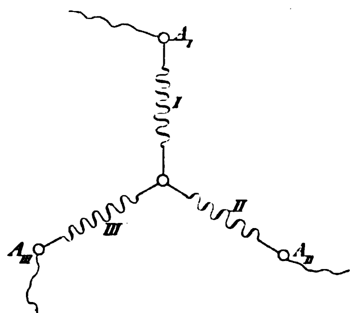


Fig. 194.

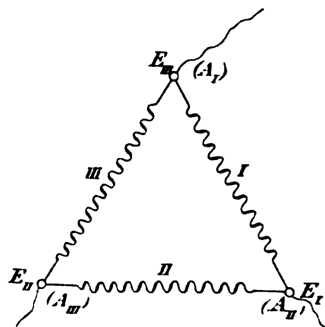


Fig. 195.

barten Spulen mit einander verbunden. Diese Vereinigungspunkte denken wir uns wieder als Klemmen und kommen so zu der **Dreieckschaltung.** Bei Drehstromerzeugern ist die „Sternschaltung" die am meisten verwendete; bei Motoren kommen beide vor. In Fig. 188 ist der dort skizzierte Motor mit „Dreieckschaltung" versehen.



Fig. 196 a.

Die Erregung des magnetischen Feldes mufs selbstverständlich, wie bei der Einphasen-Wechselstrommaschine, durch den Strom einer besonderen Gleichstromdynamo erfolgen. Diese wird bei gröfseren Anlagen wegen der angeführten damit verbundenen Vorteile stets durch eine besondere Dampfmaschine, Gasmotor oder dergl. angetrieben.

Auch hier mögen einige neuere Konstruktionen von Drehstrommaschinen verschiedener Firmen kurz besprochen werden.

Fig. 196a zeigt das zwölfpolige rotierende Feld einer Union-Drehstrommaschine von 100 Kilowatt bei 500 Umdrehungen und Fig. 196b den dazu gehörigen feststehenden Anker. Rechts sind die drei Leitungskabel für den abzunehmenden Drehstrom sichtbar.

Der Drehstromgenerator der A. E. G.-B. (Fig. 197) hat ebenfalls einen zwölfpoligen Feldmagneten; die zweipolige Erregermaschine ist direkt gekuppelt.

Nur zehnpolig ist das Feld der Drehstrommaschine der He.-K. Die Anordnung der Spulen des Ankers ist hier besonders gut zu erkennen (Fig. 198). Die Maschine leistet bei 750 Umdrehungen pro Min. 80 Kilowatt.

Die Fig. 199 (cf. 178) und 200 bringen Drehstrommaschinen der Firmen Schu. und S. u. H. Die Maschine der letzteren Gesellschaft



Fig. 196 b.

ist gewöhnlich mit Schutzblechen ausgestattet und ist hier für Seilantrieb eingerichtet.

Für gröfsere Kraftzentralen, deren Anlage ja auch schon für ausgedehnte Grubenfelder mit mehreren Förder- und Wetterschächten in Betracht kommt, werden Maschinen gebaut, die bei allen Firmen ungefähr die Ausführung der Fig. 201 zeigen. Die dort abgebildete Maschine (He.-K.-Ehrenfeld) ist mit einer 300pferdigen Dampfmaschine gekuppelt und macht 85 Touren pro Min. Das magnetische Feld ist 72-, die Erregermaschine 16polig. — Von der Maschinenfabrik Oerlikon werden neuerdings Drehstrommaschinen gebaut, bei denen die rotierenden

Feldmagnete sich aufserhalb, die feststehenden Spulen dagegen innen befinden.

Die eigentümliche Verkettung der drei „Phasen“ des Drehstromes bedingt es, dafs die Stromkreise nicht ganz von einander unabhängig sind. Man hat vielmehr wohl darauf zu achten, dafs Lampen und

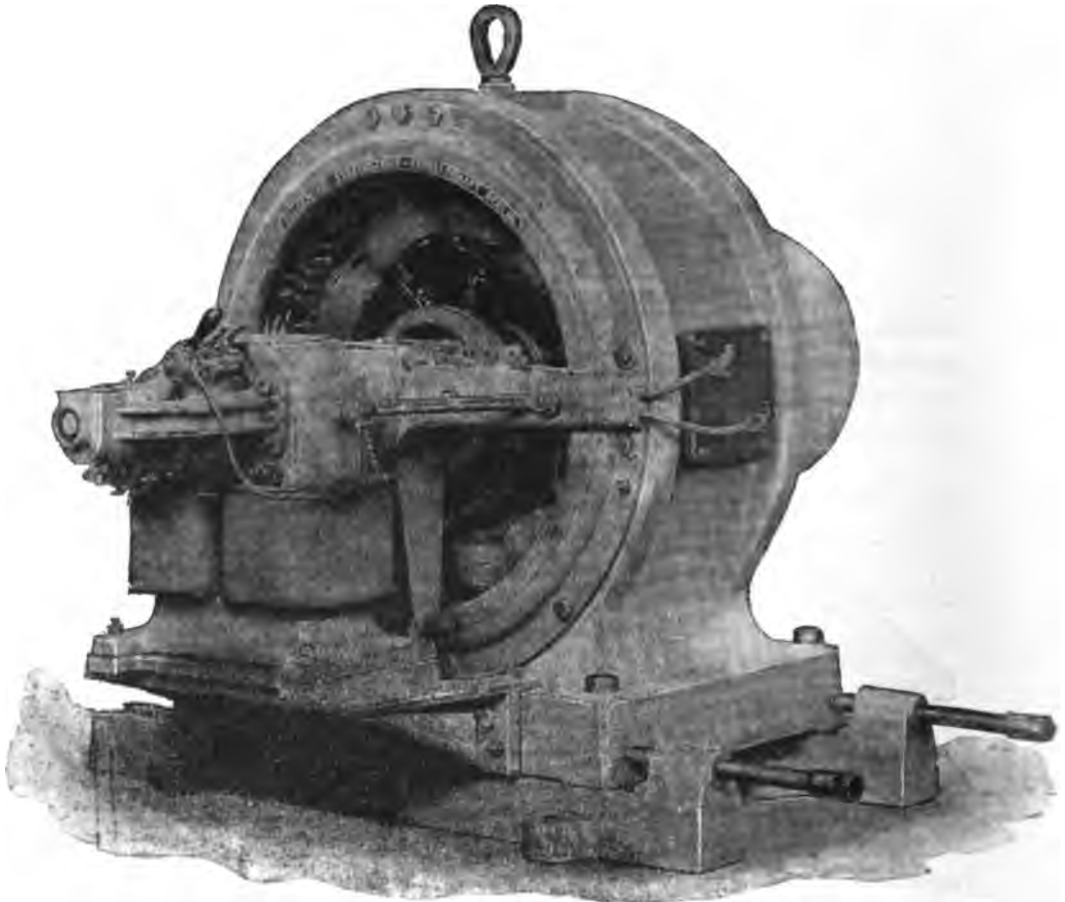


Fig. 197.

Motoren gleichmäfsig zwischen alle drei Leitungen verteilt sind. Ist nun die Stromstärke in jedem der drei Zweige J und die Spannung zwischen zwei Phasen E, so ist die Leistung der Maschine keineswegs $J \cdot E$, sondern $= J \cdot E \cdot \sqrt{3}$.*) Aber auch diese Formel gilt nur für

*) Man unterscheidet nämlich: 1. Die Hauptspannung E (zwischen je zwei Leitern). 2. Die Phasenspannung E_0 (zwischen einem Leiter und dem Nullpunkt,

reine Glühlichtbeleuchtung ohne Transformatoren etc. Sowie Bogenlampen, Transformatoren, Motoren, überhaupt Apparate eingeschaltet sind, bei denen Magnetisierungen durch Spulen vorkommen, so ist

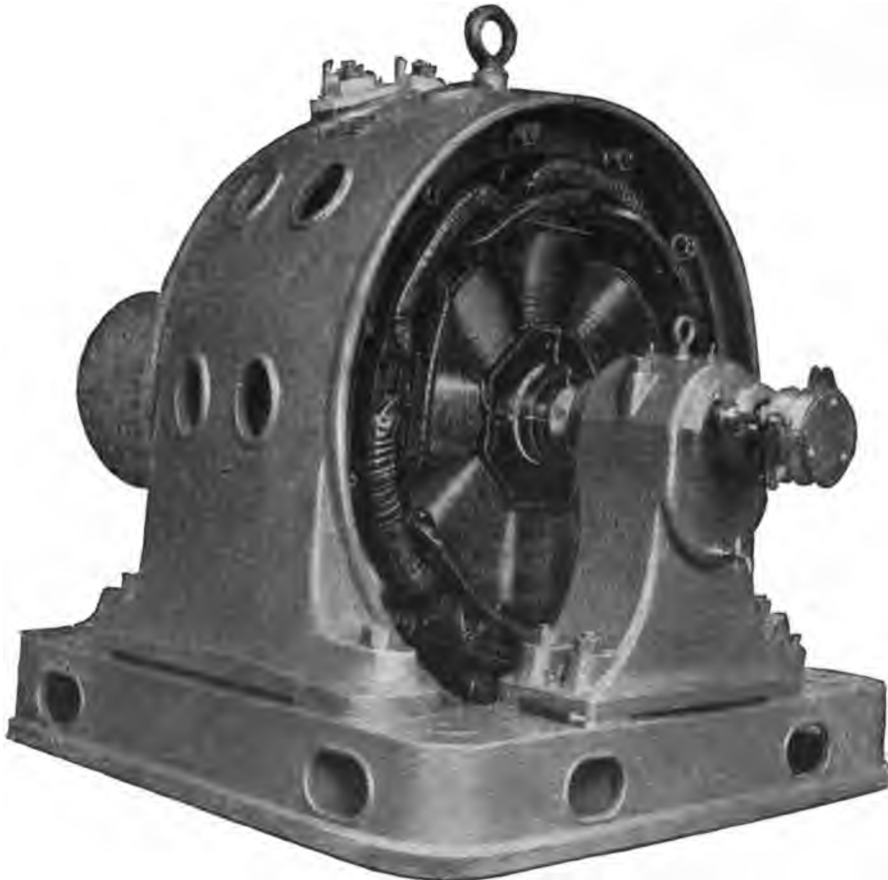


Fig. 198.

Folgendes zu beachten: Die einzelnen Windungen der Spulen, in denen doch fortwährend Ströme auftreten und verschwinden, beeinflussen einander derart, dafs in ihnen Induktionsströme erzeugt werden (Extra-

---

cf. Fig. 194). Denkt man sich, dafs die Strecken $A_I A_{II}$, $A_{II} A_{III}$, $A_{III} A_I$ graphisch E und ebenso A, O, $A_{II} O$ und $A_{III} O$ die Spannung E_0 darstellen, so hat man ein gleichseitiges Dreieck mit E als Seite und E_0 als grofsem Radius. Zwischen beiden besteht bekanntlich die Beziehung: $E = 2 E_0 \cdot \sin 60^0 = E_0 \cdot \sqrt{3}$. Die Leistung der Maschine pro Phase wird sein $E_0 J$, die gesamte $3 E_0 J$ oder $3 \cdot \frac{E}{\sqrt{3}} \cdot J = \sqrt{3} \cdot E \cdot J$.

ströme), die den ersteren (primären Strömen) entgegengesetzt gerichtet sind. Man nennt diese Erscheinung ja „Selbstinduktion". Würde man den zeitlichen Verlauf der Spannung und ebenso den der Stromstärke durch eine Kurve darstellen (ähnlich der Fig. 62), so würde sich herausstellen, dafs das Maximum der *E.M.K.*-Kurve nicht mit dem der Stromstärke zusammenfällt und ebenso auch nicht das Nullwerden beider Gröfsen. Die *E.M.K.*-Kurve erscheint gegen die

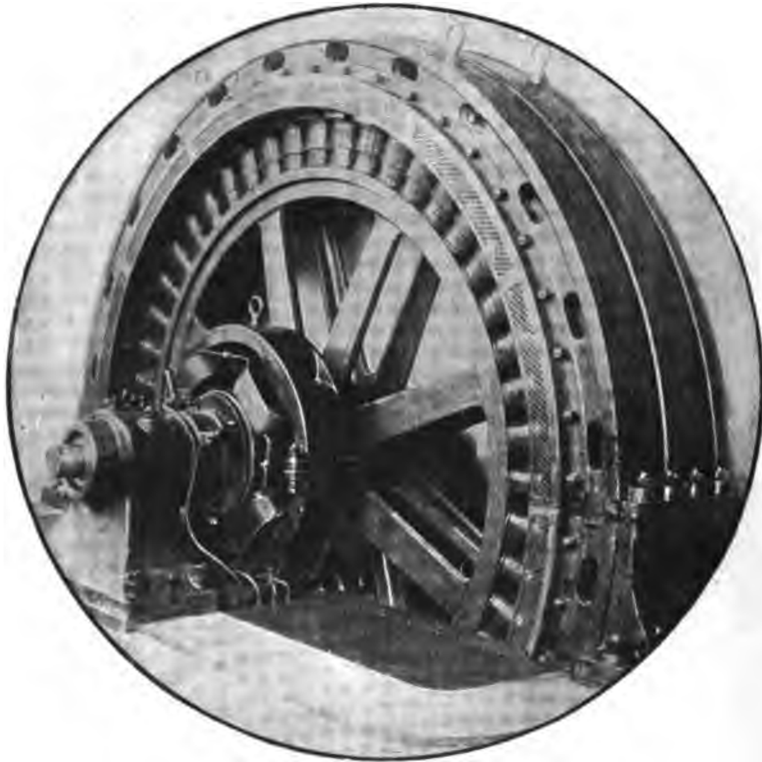


Fig. 199.

Stromstärkekurve um einen Winkel φ verschoben, d. h. es findet eine „**Phasenverschiebung**" statt, deren Gröfse durch den Cosinus des Winkels φ gemessen wird. Infolge dieser Erscheinung wird „**scheinbar**" eine gröfsere Anzahl von Watts zum Betriebe eines Motors, Transformators etc. gebraucht als ursprünglich nach der Pferdestärke anzunehmen ist. Man definirt daher den „**cos φ**" auch wohl als das Verhältnis aus dem wirklichen Wattbedarf zum scheinbaren:

$$\cos \varphi = \frac{\text{wirklicher}}{\text{scheinbarer}} \text{ Wattbedarf.}$$

Die Gröfse des $\cos \varphi$ hängt von der Anzahl der Motoren, Transformatoren etc., welche am Netze liegen, ab. Es ist:

$\cos \varphi = 1{,}00$ für reine Glühlichtbeleuchtung ohne Transformatoren,

$\cos \varphi = 0{,}95$ für Glühlichtbeleuchtung mit nicht zu vielen Transformatoren,

$\cos \varphi = 0{,}9$ für eine Beleuchtungsanlage von Bogen- und Glühlicht,

$\cos \varphi = 0{,}8$ bis 0,9 für eine Motorenanlage.



Fig. 200.

Die Gröfse des „$\cos \varphi$" ist bei den Drehstrommotoren der verschiedenen Firmen verschieden. Sie schwankt zwischen 0,7 bis 0,9.

Wir erhalten in allen diesen Fällen die Leistung mit Hülfe der Gleichung:

$$\text{Anzahl der Watt} = \sqrt{3} \cdot J \cdot E \cos \varphi$$
$$L = 1{,}73 \cdot J \cdot E \cos \varphi .$$

Dem scheinbaren Mehrbedarf an Watts entsprechend müssen auch die Leitungen stärker bemessen werden. Um den Gang dieser Berechnung annähernd anzugeben, wollen wir wieder annehmen, es seien die im 13. Vortrage, Seite 152, angegebenen 84000 Watts zum Betriebe eines 100 PS.-Motors mit Hülfe einer Drehstromanlage auf die Entfernung von 10 km hin zu schaffen. Nehmen wir für diese Anlage ein $\cos \varphi = 0{,}9$ an, so ist der scheinbare Wattbedarf $\frac{84\,000}{\cos \varphi} = 93333$ W. Rechnet man wie vorhin 10% Verlust, so ist die Leitung für 102666 Watts

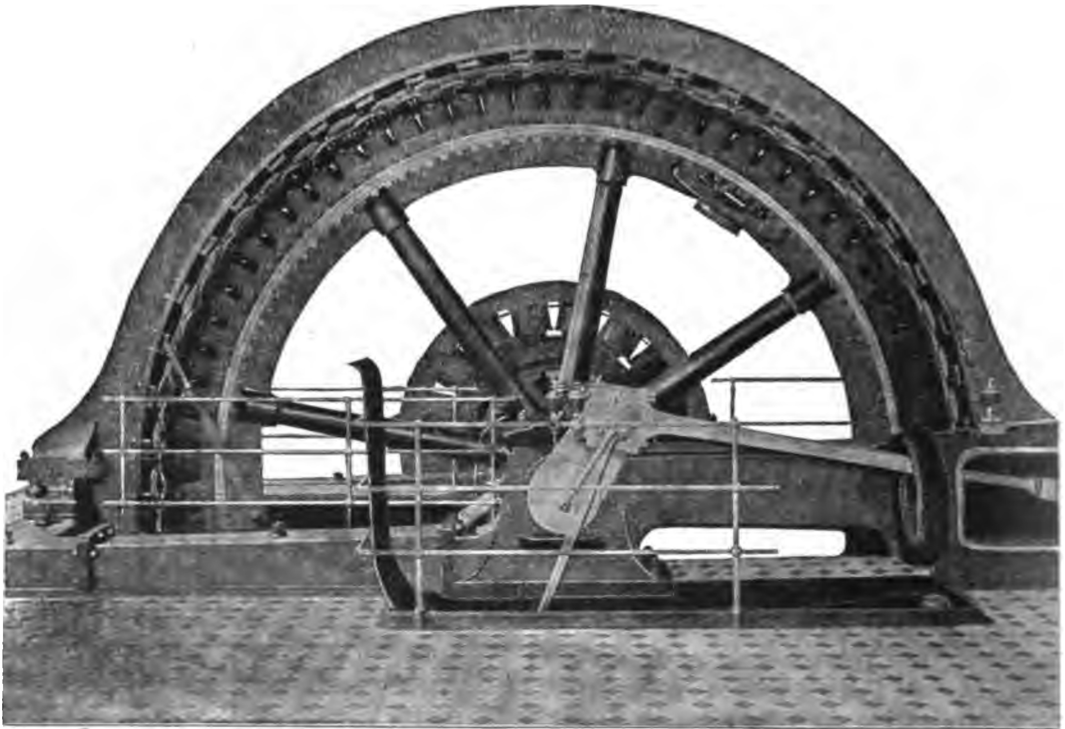


Fig. 201.

zu bemessen. Die Betriebsspannung zwischen zwei Leitern sei 2000 Volts (siehe die Tabelle I auf Seite 153, Nr. 3). Dann ist die Stromstärke in jeder Leitung: $\frac{102\,666}{2000 \cdot 1{,}73} = 29{,}6$ **Amp.** Bei 10% wird der Spannungsverlust pro Leitung sein $\frac{2000}{10 \cdot \sqrt{3}} = 115{,}6$ **Volts.** Der Querschnitt ist daher $\frac{10\,000 \cdot 29{,}6}{55 \cdot 115{,}6} = 46{,}6$ **qmm.** Vergleicht man dieses Ergebnis mit

dem in der Tabelle I (Seite 153) beim Gleichstrom entsprechender Spannung erhaltenen, so findet man, dafs bei der Kraftübertragung durch Drehstrom thatsächlich an Kupfer gespart wird, ganz abgesehen von den sonst noch damit verbundenen Vorteilen. Man sehe auch die Zusammenstellung Seite 160.

Sechzehnter Vortrag.

Die Drehstrommotoren — Synchron- und Asynchronmotoren — und ihre Verwendung im Bergwerksbetriebe. Union-Bohrmaschinen.

Am Anfange des vorigen Vortrages hatten wir bereits einen Wechselstrommotor vorgeführt, und zwar einen solchen für Zweiphasen-Wechselstrom. Wir hatten schon dort hervorgehoben, dafs die Rotation der Nadel eine gleichmäfsigere sei, wenn wir drei Spulenpaare verschiedener Phase, mit anderen Worten einen „Drehstrommotor" nehmen. Denn bei diesem sind die Pulsationen des Feldes viel geringer, und es tritt dafür besser dessen Rotationswirkung hervor. Im Grunde genommen ist unser Modell mit den drei nach „Sternschaltung" verbundenen Spulenpaaren nichts anderes als eine Drehstrommaschine, die man durch Einleiten des Drehstromes in den feststehenden Anker, den **„Ständer"**, als Motor laufen läfst. Die Feldmagnete, deren Achse die Motorachse bildet, müssen durch einen auf irgend eine Weise erzeugten Gleichstrom erregt werden. Man nennt diese Art der Motoren **„Synchronmotoren"**. Ihre Umdrehungszahl wird von der Perioden- bezw. Wechselzahl des Betriebsstromes und der Polzahl des Motors abhängen. Ist die Wechselzahl 6000 pro Min. und die Zahl der Pole 12, so macht der Motor 500 Umdrehungen pro Min. Unser Motor, dessen Feldmagnete ja **permanente** Magnete sind, ist zweipolig; er wird bei der früher angenommenen Periodenzahl 2000 pro Min. 2000 Umdrehungen pro Min. machen. Wir ersetzen nun an unserem Modell — und zwar zunächst an dem für **Zweiphasenstrom** — die Magnetnadel durch eine drehbare Eisenscheibe. Wir sehen, dafs



Fig. 202.

nach Einleitung des nötigen Stromes die Scheibe sich in ganz bestimmtem Sinne dreht*). In der Eisenmasse werden nämlich durch die in den Spulen cirkulierenden Wechselströme Induktionsströme erzeugt, die durch ihre Einwirkung auf die ersteren die Drehrichtung hervorrufen. Stellen wir die Umdrehungszahl dieser Scheibe durch einen Tourenzähler fest (Fig. 202) und ebenso die des Generators, so sollte nach dem früher Gesagten der Quotient:

$$\frac{\text{Polzahl des Generators} \times \text{dessen Umdrehungszahl}}{\text{Polzahl des Motors}} = \frac{\text{Wechselzahl}}{\text{Polz. d. M.}}$$

= **Umdrehungszahl des Motors** sein.

Es stellt sich jedoch heraus, dafs diese etwas kleiner ausfällt. Der „**Rotor**" oder „**Läufer**" — wie man den sich drehenden Teil des Motors nennt — bleibt in seiner Geschwindigkeit etwas hinter derjenigen der Rotation der Pole in dem „Ständer" zurück. Man nennt diesen Unterschied die „Schlüpfung". Sie ist für den Drehstrommotor äufserst wichtig**). Solche Motoren werden „**Asynchronmotoren**" genannt.

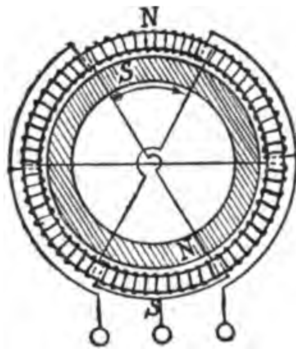


Fig. 203.

Wir haben hier einen kleinen Drehstrommotor (Hauptmann u. Co.-Leipzig). Der feststehende Teil, „**der Ständer**", ist mit drei Spulenpaaren bewickelt, die hier durch die Farben schwarz, rot, grün unterschieden sind. Für die Spulen ist die Dreiecksschaltung gewählt (Fig. 203, siehe auch Fig. 188). Der konzentrisch zu dem Ständer angeordnete „Läufer" ist in diesem Falle ein einfacher eiserner Ring bezw. Hohlcylinder. Auf dessen Achse haben wir zwecks besserer Orientierung einen roten Pfeil geschraubt. Zwischen zwei von den drei Leitungsdrähten, die den Spulen entsprechend schwarz, rot, grün gewählt sind, befindet sich ein Umschalter, der das Vertauschen zweier Leitungen gestattet. Wird nun der Strom geschlossen, so setzt sich, wie wir sehen, der Pfeil sofort in schnelle rotierende Bewegung — hier wie der Zeiger der Uhr. Schalten wir jetzt um, so dreht sich

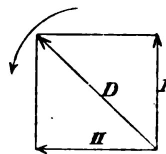


Fig. 204.

*) Einen Kontrollversuch stellen wir an, indem wir unter einer auf der Spitze einer horizontal gehaltenen Glasplatte drehbaren Kupferscheibe die Pole eines Hufeisenmagneten sich drehen lassen (mit Hülfe einer Centrifugalmaschine). Die Scheibe dreht sich gleichsinnig mit den Polen.

) Denn würde diese „Schlüpfung" **nicht auftreten, so würden sich ja fortwährend *N* und *S*-Pole gegenüberstehen: die Rotation würde aufhören, da kein „Drehmoment" vorhanden wäre. (Siehe auch Fig. 110.)

der Motor nach kurzem Stillstande in entgegengesetztem Sinne. Das „Reversieren“ des Drehstrommotors ist also eine sehr einfache Sache. Seine Theorie ist leicht zu verstehen, wenn man die Fig. 185 betrachtet und sich dort die Zuleitungen des Wechselstromes *II* zu den Spulen *BA* vertauscht denkt, eine Manipulation, die wir hier noch nachträglich an dem zugehörigen Modell vornehmen wollen. Wir sehen thatsächlich, daſs auch hier der Drehsinn umgekehrt wird. Das neben Fig. 185 2 gezeichnete Kräfteparallelogramm nimmt eben die Gestalt Fig. 204 an. Die Diagonale „*D*“ dreht sich jetzt nach links. Für die praktische Ausführung könnte man den Hebelumschalter Fig. 205a (Schu. u. Co.) benutzen, indem man die Schaltung nach dem ohne weiteres verständlichen Schema der Fig. 205b ausführt.



Fig. 205a.

So einfach wie an unserem nur eine sehr geringe Leistung aufweisenden Motor ist aber der „Läufer“ im allgemeinen nicht. Die kleineren Motoren der Praxis (unter 5 PS.) haben einen „**Kurzschluſs-Läufer**“ (Fig. 206, siehe auch Fig. 188). Der aus zahlreichen Blechen hergestellte eiserne Läufer trägt in Längsnuten Kupferstäbe, die an ihren Enden alle durch Metallringe kurz ge-

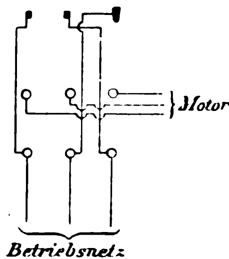


Fig. 205b.



Fig. 206.

schlossen sind. Durch den in den Spulen des Ständers cirkulierenden Drehstrom werden in den Kupferstäben Induktionsströme erzeugt, wodurch die Drehung bewirkt wird. Die in dem Läufer flieſsenden

Ströme sind, den dicken Kupferstäben entsprechend, von nur **geringer** Spannung. Dies ist natürlich für die Sicherheit der Isolation des beweglichen Teiles des Motors von grofsem Vorteile. Motoren dieser Art können wochen-, ja monatelang ohne jegliche Wartung laufen. Doch ist ihrer Verwendungsfähigkeit durch den Umstand eine Grenze gesteckt, dafs beim Einschalten des zum Motor führenden Stromes sofort der Induktionsstrom von gröfster Stärke in dem Läufer entsteht. Infolgedessen erfolgt der Anlauf eines solchen Motors mit einem starken Ruck, der nicht nur in der Transmission, sondern auch in den elektrischen Leitungen unangenehm fühlbar wird.

Für gröfsere Motoren werden deshalb „Läufer“ hergestellt, die wirkliche Wickelungen haben, welche dreiteilig nach Art der Wickelung des Ständers ausgeführt sind. Die drei Enden der drei Wickelungsabteilungen sind wieder kurz geschlossen, während die drei Anfänge je zu einem auf der Achse sitzenden, gut isolierten Metallringe führen. Auf diesen Ringen schleifen Bürsten, ($B_1 B_2 B_3$), die durch drei Leitungen mit einem dreiteiligen „Anlafswiderstande“ (W_1 W_2 W_3) verbunden sind. Durch Drehen des Metallhebels H im Sinne des Zeigers der Uhr wird Widerstand in die Wickelungen des Läufers eingeschaltet. Geschieht dies beim „Anlassen“, so wird der Induktionsstrom bedeutend geschwächt; der Motor geht langsam an.

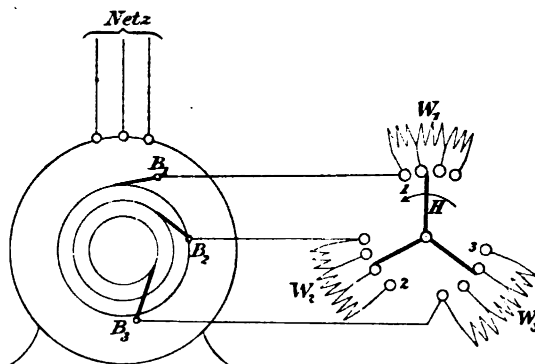


Fig. 207.

In dem Mafse, wie dessen Tourenzahl wächst, wird Widerstand ausgeschaltet. Ist die volle Tourenzahl erreicht, so wird der Hebel mit seinen Kontaktfingern auf die Kontakte *1, 2, 3* gedreht: die Wickelung im Anker ist kurz geschlossen. Die A. E. G. geht sogar so weit, dafs durch einen besondern am Motor angebrachten Hebel die Wickelungen kurz geschlossen und die Bürsten dann während des Dauerbetriebes **dauernd** abgehoben werden. Dadurch sind alle möglichen Reibungsverluste beseitigt. Andere Fabriken (S. u. H., Un.) bringen den Anlafswiderstand im Läufer selbst an und bewirken dessen Aus- und Einschaltung bezw. das Kurzschliefsen durch eine auf der Achse des Läufers angebrachte, durch einen Hebel zu bethätigende Vorrichtung. Deren Vorteil liegt auf der Hand: der Motor kann jetzt

vollständig geschlossen gebaut werden, was seine Verwendbarkeit für Schlagwettergruben erhöht; denn jegliche Funkenbildung wird vermieden. Statt des dreiteiligen Draht-Anlaſswiderstandes kann selbstredend auch ein ebenso eingerichteter Flüssigkeitsanlasser verwendet werden.

Genau wie bei den „Umkehranlassern" der Gleichstrommotoren kann man gleichfalls Reversierhebel und Anlasser zu einem Apparate vereinigen. Einrichtung und Aussehen dieser Vorrichtungen weichen wenig von den bei den Gleichstrommotoren besprochenen ab.

Man unterscheidet, wie gesagt, in der Hauptsache zwei Haupttypen von Drehstrommotoren:

1) Motoren mit Kurzschluſsläufern (Fig. 208, Schu.),

2) Motoren mit Schleifringen und Anlaſswiderstand (Fig. 209, Schu.).



Fig. 208.



Fig. 209.

Die ersteren werden für kleinere (bis 5 PS.), die letzteren für gröſsere Leistungen gebaut.

Die Bedeutung des $\cos \varphi$ war bereits früher erläutert worden; je gröſser $\cos \varphi$ desto besser; für gröſsere Motoren ist meistens $\cos \varphi = 0{,}9$.

Bei den Wickelungen der Ständer der Drehstrommotoren wird gewöhnlich die Sternschaltung angewendet. Soll jedoch im Augenblicke des Anfahrens eine groſse Anzugskraft entwickelt werden, oder kommen im Betriebe des betreffenden Motors Fälle vor, in denen besonders hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Motors gestellt werden, so legt man die Wickelungen statt an drei Klemmen an **sechs** (die sich auf dem Gehäuse des Motors befinden) und bringt eine Umschaltungsvorrichtung an, deren Prinzip aus einem Schaltungsschema Fig. 210abc ersichtlich ist, das Brown u. Bowery (Emil Sinell-

Berlin) für ihre Motoren verwenden. Die drei Phasen sind durch die Leitungen *A*, *B*, *C* dargestellt, die sechs Klemmen durch *I*, *II*, *III* und *1*, *2*, *3*. Der dabei vorgesehene Umschalter kann die Form der Fig. 205a haben. Die Schaltung ist bei den betreffenden Motoren so eingerichtet, dafs beim Anlauf auf Stern und während der Arbeit auf Dreieck geschaltet ist. Man wird diese Doppelschaltungen vor allem bei Motoren für Strecken- und Schachtförderung und Walzenstrafsen anbringen, während wohl meistens bei durch Drehstrommotoren angetriebenen Ventilatoren davon abgesehen werden kann.

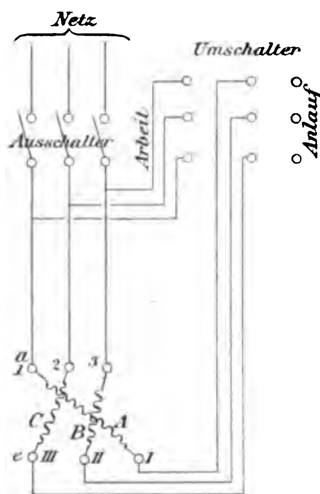


Fig. 210.

Von gröfster Wichtigkeit ist es für den Bergmann, die Tourenzahl der Drehstrommotoren innerhalb möglichst weiter Grenzen regulieren und abändern zu können. Da mufs nun zugestanden werden, dafs bei den Gleichstrommotoren diese Forderung viel leichter und zufriedenstellender erfüllt werden kann. Gleichwohl stehen bei dem Drehstrommotor eine Reihe von Mitteln zur Regulierung der Tourenzahl zur Verfügung, von denen hier die wichtigsten angeführt werden sollen: *)

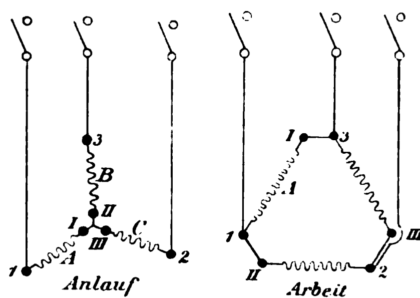


Fig. 210a. Fig. 210b.

1) Es wird in den Niederspannungsstromkreis des Läufers Widerstand eingeschaltet. Flüssigkeitswiderstände sind für solche Zwecke nicht empfehlenswert; man mufs schon Drahtwiderstände nehmen, die dem Dauerbetriebe entsprechend zu bemessen sind; um sie in jeder Hinsicht gegen zu grofse Erwärmung zu schützen, müssen sie so montiert werden, dafs eine möglichst gründliche Lüftung bewirkt wird. Es darf bei diesem Verfahren aber nicht vergessen werden, dafs es Vernichtung von nutzbarer Energie mit sich bringt, dafs es mithin nicht gerade rationell ist.

*) Die verschiedenen Firmen sind in neuester Zeit bemüht die Methoden der Regulierung der Tourenzahl bei Drehstrommotoren noch weiter zu vervollkommnen, wie die zahlreichen darauf bezüglichen Patentanmeldungen beweisen.

2) Da das Product aus Polzahl $\times$ Umdrehungszahl des Generators die Wechselzahl pro Minute giebt und dieselbe Beziehung auch für den Motor gilt, so kann man genau wie beim Gleichstrommotor durch Änderung der Polzahl des Motors eine Änderung seiner Tourenzahl bewirken. Die Ausführung des Mittels erfordert eine eigene Schalttafel, auf der die Wickelungen des Motors verschieden geschaltet werden können. Hat z. B. ein Motor 60 Pole und wird er von einem Drehstrome mit der Periodenzahl 50 pro Sek. (6000 Wechsel pro Min.) gespeist, so macht er minutlich nur 100 Umdrehungen. Ist man imstande, mit Hülfe der Schaltungsvorrichtung die Polzahl in 30, 20, 12, 6, 4 oder 2 zu verwandeln, so erhält man als dementsprechende Tourenzahlen: 200, 300, 500, 1000, 1500 oder 3000 pro Min. Hätte der Betriebsstrom die ebenfalls gebräuchliche Wechselzahl 5000 pro Min., so wäre ein 60-, 30-, 12- oder 6-poliger Motor nicht gut möglich; mit einer Polzahl von · 20, 4 oder · 2 würde man die Umdrehungszahlen 250, 1250 oder 2500 erhalten. Man sieht, dafs die Auswahl der Tourenzahlen eine geringe ist, während beim Gleichstrommotor das umgekehrte der Fall ist. Eine weitere Beschränkung erfährt die Anwendbarkeit dieser Methode durch die Bedingung, dafs der betreffende Motor einen **Kurzschlufsläufer** haben mufs.

Für das unter 1) geschilderte Mittel ist andererseits unbedingt ein Motor mit „**gewickeltem Rotor**“ und Schleifringen erforderlich. Die Regulierfähigkeit ist jedoch eine gröfsere, wenn man nur für möglichst viele Widerstandsstufen bezw. Kontakte sorgt.

3) Eine weitere Art der Regulierung ist in der Abänderung der Perioden- bezw. Wechselzahl gegeben. Man müfste zu dem Zwecke die Wechselzahl des Drehstromes ändern, d. h. den Wechselstrom von bestimmter Wechselzahl in einen solchen von anderer Wechselzahl umformen. Dazu wären Vorrichtungen nach Art der Gleichstromumformer (Fig. 171 u. 172) erforderlich. Sollte zum Beispiel die Wechselzahl von 6000 in 2000 umgewandelt werden, so müfste die erste Maschine, die als Motor läuft, für 6000 Wechsel gebaut sein. Sie treibt dann die zweite für 2000 Wechsel eingerichtete als Drehstromgenerator an. Diesem wird der Strom von 2000 Wechseln entnommen. Während ein achtpoliger Motor, falls er an dem ersten Teile des Netzes liegt, 750 Touren macht, sinkt seine Tourenzahl, wenn er auf den neuen Teil des Netzes geschaltet wird, auf 250.

In allen diesen Fällen darf selbstredend nicht unberücksichtigt bleiben, dafs mit der Tourenzahl auch die Leistung des Motors sinkt.

4) Man versieht den Anker mit zwei verschiedenen Wickelungen. („Kaskadenschaltung“ von S. u. H.)

5) Hebt man den einen der drei Schleifringe eines Motors mit gewickeltem Läufer ab, so läuft dieser mit **einer** Phase und macht die Hälfte der Umdrehungen, die er vorher hatte.

Der Drehstrommotor hat sich in gleicher Weise wie der Gleichstrommotor schon in allen Teilen des Bergwerksbetriebes den ihm gebührenden Platz erobert.

Nur für den direkten Betrieb elektrischer **Grubenbahnen** scheint der Drehstrom wenigstens in Deutschland noch nicht in Anwendung gekommen zu sein, während dies in Österreich schon geschehen sein

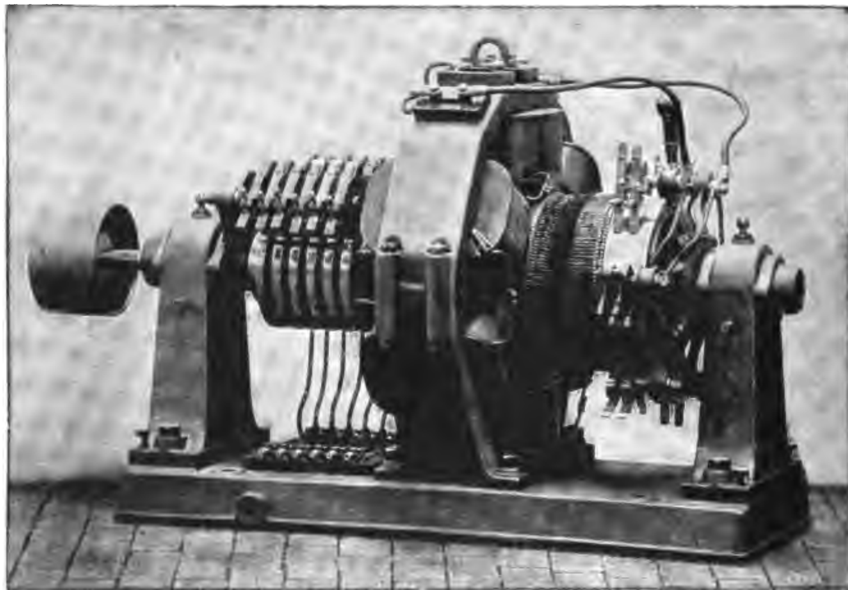


Fig. 211.

soll*). Die Anlage wird ja auch dadurch etwas komplizierter, dafs nur eine „Phase" durch die Schienen zurückgeleitet werden kann; für die beiden anderen sind **zwei** Leitungen an der Firste nötig. — Falls die Zentrale einer Grube lediglich eine solche für Drehstrom ist und man doch mit diesem etwaige Grubenlokomotiven nicht betreiben will, so hat man einen sehr guten Ausweg. Es wird eben ein Teil des Stromes an der Verbrauchsstelle (unter Tage) in Gleichstrom umgeformt und der letztere dann den Leitungen der Grubenbahn zugeführt

*) S. Fig. 138. Dort sind alle **drei** Leitungen an der Firste gezogen.

(z. B. Schreiberschacht - Czernitz). Dazu sind „Gleichstrom - Drehstrom - Umformer“ erforderlich. Unsere Maschine hier (Fig. 176) kann auch als ein solcher Apparat gelten. Wir leiten in die Bürsten der Ringe *1, 2, 3* (vorher auf 120 Volts transformierten) Drehstrom und nehmen an den Klemmen, welche mit den Bürsten des Kollektors in Verbindung stehen, Gleichstrom ab. Umgekehrt können wir mit unserer Maschine, jetzt „Umformer“, Gleichstrom in Drehstrom verwandeln. Wir haben das in Wirklichkeit, ohne es besonders hervorzuheben, bei allen unseren

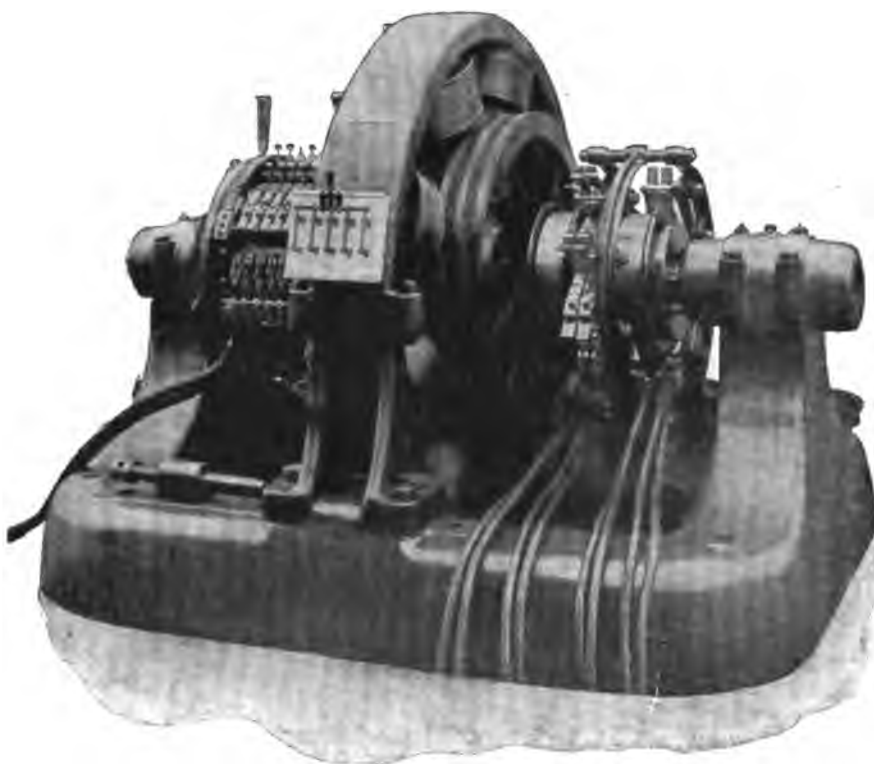


Fig. 212.

früheren mit Drehstrom angestellten Versuchen schon gethan und haben uns so das Drehen der Maschine erspart. „Umformer“ dieser Art, welche für die Praxis bestimmt sind, sind in Fig. 211 (Schu.-N., sechspolig) und Fig. 212 (Un.-B.; für 150 Kilowatts Gleichstrom bei 110 Volts und 750 Umdrehungen; **acht** Pole) dargestellt. Man kann den „Umformer“ jedoch auch in der Weise bauen, dafs man einen Drehstrommotor mit einer Gleichstrommaschine auf eine gemeinsame Achse setzt

und dann den Bürsten der von dem Drehstrommotor angetriebenen Gleichstrommaschine den umgeformten Strom entnimmt (Fig. 213 Un.; für 150 Kilowatt und 500 Umdrehungen). Umformer dieser Art nehmen allerdings etwas mehr Raum als die der ersten Gattung ein. Sie sind viel in gröfseren Zentralen aufgestellt, wo sie zur Umformung desjenigen Teiles des Drehstromes dienen, der (in Gestalt von Gleichstrom) für die Erregung der Feldmagnete der Drehstromgeneratoren

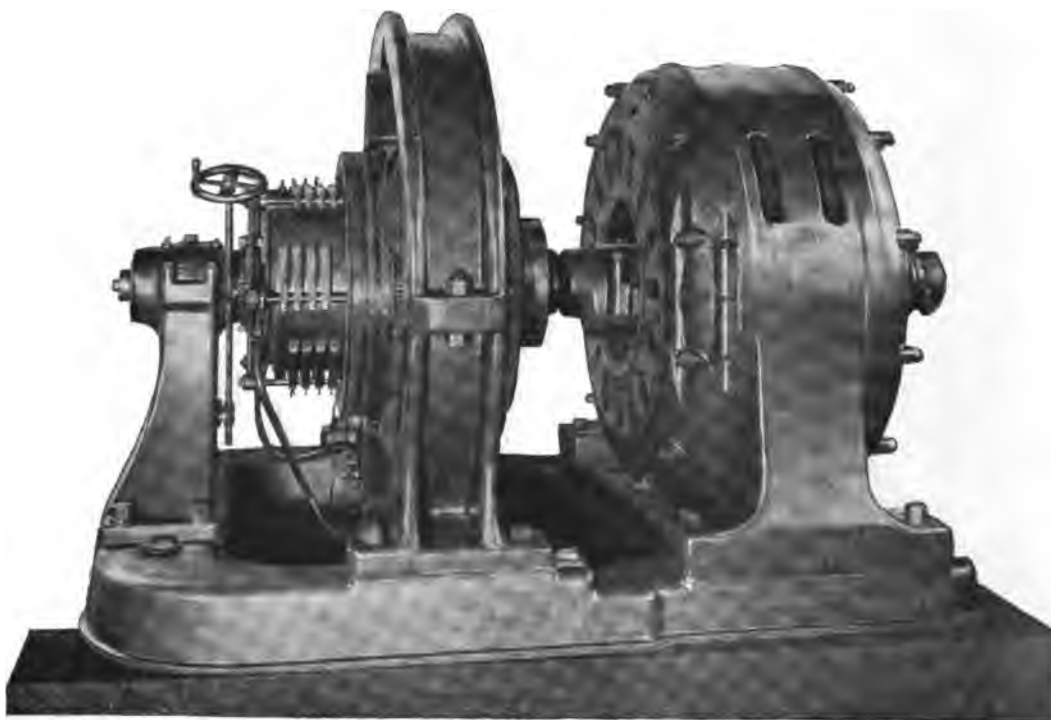


Fig. 213.

erforderlich ist (Zentralen in Chorzow und Zabrze; elektrische Zentrale auf Hoheneggerschacht-Karwin).

Bedeutend gröfser ist bereits die Anzahl der **durch Drehstrom betriebenen** (elektrischen) **Pumpen.** Fig. 214 (cf. 140) ist eine Abteufpumpe der Un.-B., die durch einen Drehstrommotor angetrieben wird.

Wir hatten schon früher erwähnt, dafs bis vor wenigen Jahren die Hauptschwierigkeit, den elektrischen Antrieb auch für gröfsere unterirdische Wasserhaltungen allmählich einzuführen, darin lag, dafs der Unterschied zwischen der Tourenzahl der gangbaren Bergwerkspumpen

und derjenigen der Elektromotoren ein sehr grofser war. Man mufste daher zu der immer doch mifslichen Übersetzung (Zahnrad- oder Riemenübertragung) seine Zuflucht nehmen, wodurch der Wirkungsgrad der Anlage um 10% bis 25% verschlechtert werden kann. Man war deshalb zunächst bestrebt, **langsam laufende Elektromotoren** von 75 Touren und weniger zu bauen, die direkt mit der Pumpe gekuppelt werden konnten. Ein bequemes Mittel hierzu ist ja einerseits die Herab-



Fig. 214.

setzung der Wechselzahl des Drehstromes, andererseits die vermehrte Polzahl des Motors im Verhältnis zu derjenigen des Generators. Als das gelungene Ergebnis eines in dieser Richtung gehenden Versuches ist die unterirdische elektrische Pumpenanlage auf Schacht I und II der Zeche **Zollverein in Caternburg** (ausgeführt von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vorm. W. Lahmeyer u. Co., Frankfurt a. M.) zu bezeichnen. Die dort aufgestellte, mit der Dampfmaschine direkt ge-

kuppelte Drehstromdynamo leistet 300 Kilowatt bei $\cos \varphi = 1$ und einer Betriebsspannung von 1000 Volts. Das 20 polige Magnetrad macht 150 Umdrehungen pro Minute; die Wechselzahl pro Min. ist demnach

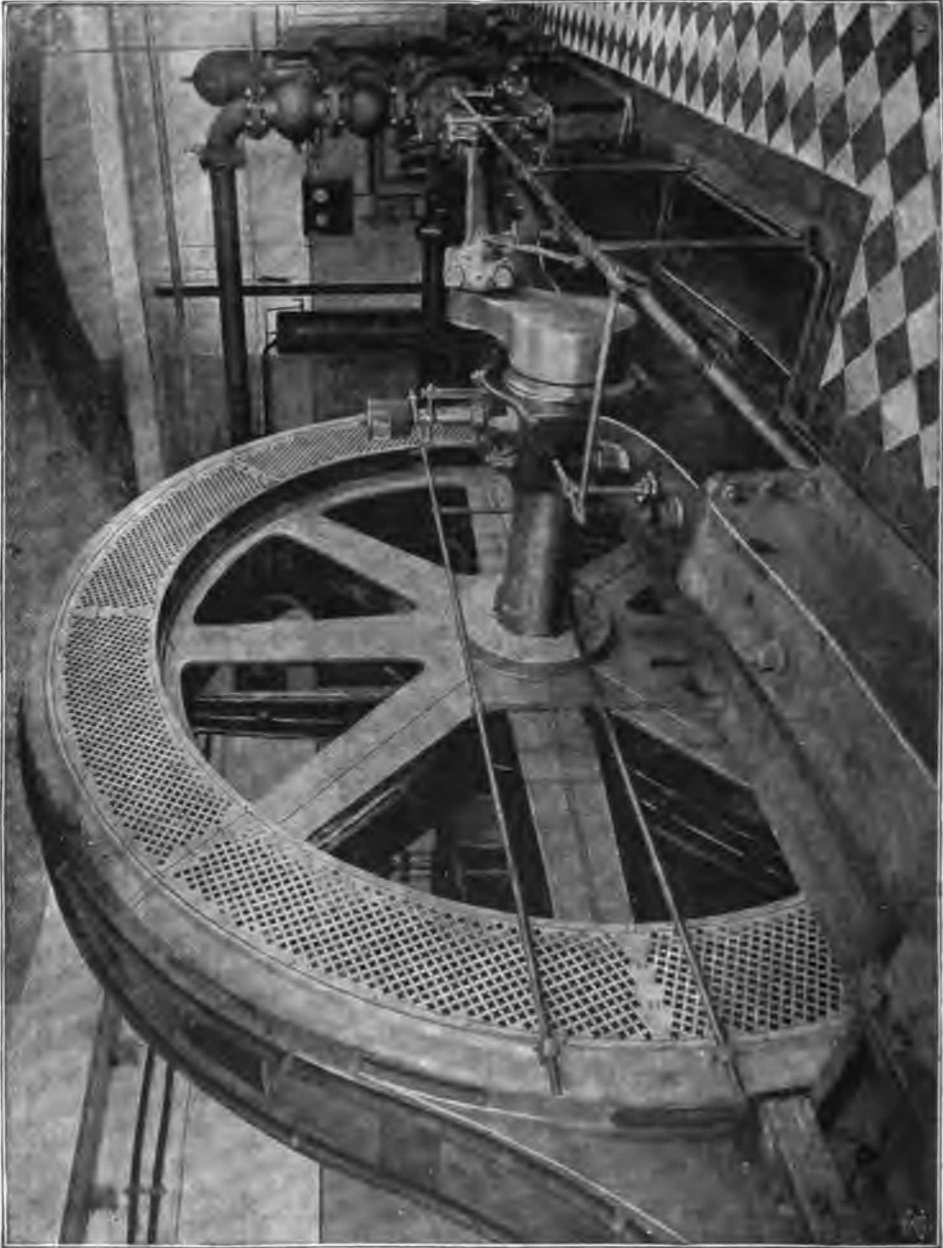


Fig. 215.

3000 (25 Perioden pro Sek.)*). Die Gleichstromerregerdynamo leistet 11 Kw. bei 110 Volts; es werden also 3—4% der Energie für die Erregung gebraucht. Der Drehstrom wird durch drei Leitungen von je 180 qmm Kupferquerschnitt, die zu einem Kabel vereinigt sind, zum Schacht und an dessen Zimmerung zur auf der 400 m-Sohle befindlichen Wasserhaltung geleitet. Diese besteht aus einer Zwillingsdifferentialpumpe (kleiner Plungerdurchmesser 127 mm, grofser 180 mm, Hub 1000 mm). Direkt mit ihr ist ein 350pferdiger Motor gekuppelt, dessen Magnetgestell 4,5 m Durchmesser hat. Der Motor darf nur 60 Umdrehungen pro Minute haben und ist daher 50polig gebaut, wodurch seine grofsen Abmessungen bedingt sind (Fig. 215). Die Figur 216 giebt uns das typische Schaltungsschema einer solchen Anlage wieder. Der Strom der oben rechts angegebenen Hülfsdynamo wird nur zur Erregung der Magnetpole beim Ingangsetzen der Maschine gebraucht. Der Pumpenmotor, der mit Kurzschlufsläufer ausgestattet ist, wird **ohne Anlafswiderstand** gleichzeitig mit der Dampfmaschine angelassen. Während dieser Periode läfst

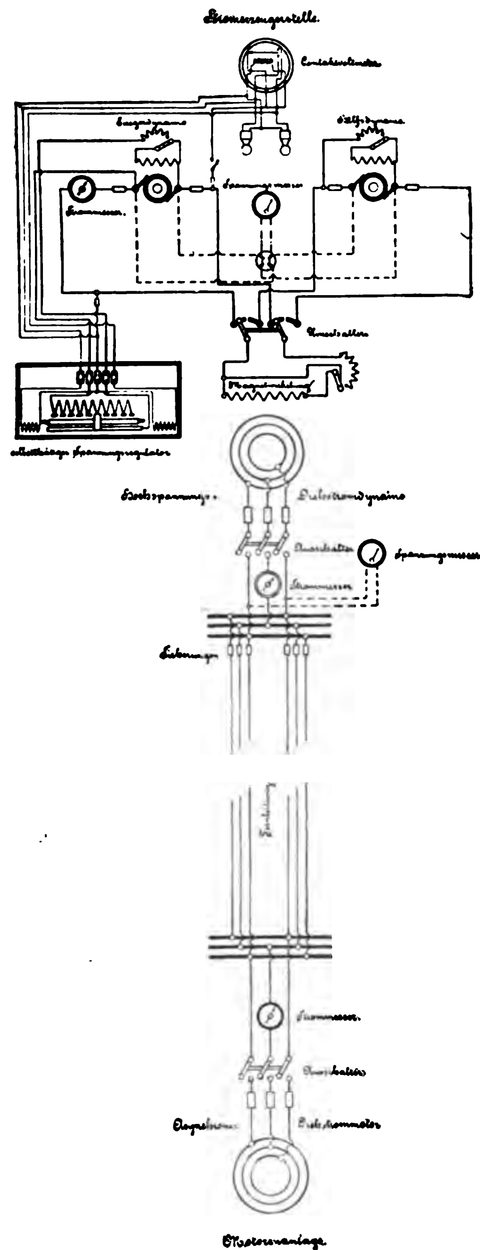


Fig. 216.

*) Hierbei darf nicht übersehen werden, dafs Glühlampen, die von diesem Netz gespeist werden, stark flackern. Man müfste schon dafür den Strom wieder umformen.

man die Pumpe durch Umsteuerung der Ventile den Elektromotor antreiben, indem sie dann als hydraulischer Motor wirkt. Dadurch wird das Anlassen wesentlich beschleunigt und erleichtert. Die Pumpe hebt 3 cbm Wasser auf 411 m. Eine ähnliche Anlage ist von derselben Firma auf dem **Schreiberschachte** der Charlottegrube bei **Czernitz** O. S. zur Ausführung gebracht worden. Die Primärmaschine leistet 160 PS. bei 800 Volts. Sie ist 12polig und macht 150 Umdrehungen pro Min.; die Wechselzahl ist also noch niedriger als bei dem vorigen Beispiel, nämlich 1800 (30 Wechsel pro Sek. oder 15 Perioden). Der Motor der wieder unter Tage (180 m-Sohle) befindlichen Wasserhaltungsmaschine (Differentialpumpe) macht 75 Umdrehungen pro Min., ist mithin 24polig. Der Läufer ist ebenfalls mit Kurzschlufswickelung ausgestattet. Der Motor wird gleichfalls mit der Dampfmaschine gleichzeitig (von oben) angelassen; jedoch ist eine elektrische Vorrichtung getroffen, die dem Maschinisten unter Tage gestattet, den Dampf der über Tage befindlichen Dampfmaschine abzustellen.

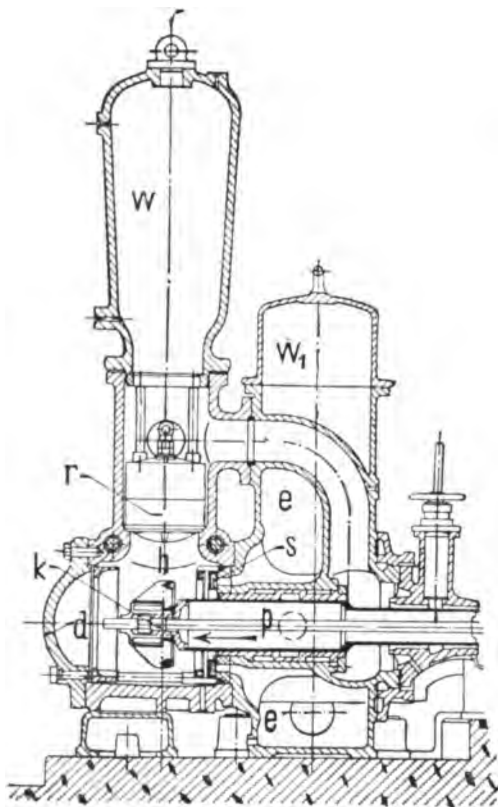


Fig. 217.

Ist sogar für die Wasserhaltung eine besondere Primärdampfmaschine aufgestellt, so kann eine Änderung der Tourenzahl des Pumpenmotors in einfacher Weise dadurch erreicht werden, dafs man die Umdrehungszahl der Dampfmaschine ändert. Die Wechselzahl wird dann ja eine andere.

Dafs durch diese Art von Wasserhaltungsmaschinen schon **grofse Vorteile** (kein überhitzter, ungesunder Raum wie bei den durch Dampf angetriebenen Pumpen, bedeutende Raumersparnis unter Tage, Wegfall der kostspieligen und zeitraubenden Reparaturen etwaiger im Schachte verlegter Dampfleitungen etc.) erzielt worden sind, liegt auf der Hand. Doch

muſs man sich immer erinnern, daſs bei diesen Anlagen das langsame Laufen der Motoren auf Kosten des elektrischen Wirkungsgrades bezw. der Leistung derselben erreicht wird. **„Es ist viel richtiger, zu dem raschlaufenden Motor auch eine raschlaufende Pumpe zu konstruieren."** Ein Fortschritt in dieser Richtung war schon der Bau von „Pumpen mit Zwangsschluſsventilen" für 80 bis 100 Touren pro Min. Zum wirklichen, Erfolg bringenden Ziele gelangte **Riedler** durch die Konstruktion seiner **Riedler-Expreſspumpen.** Sie ist eine „raschlaufende Pumpe" im wahren Sinne des Wortes. „Raschlaufende Pumpen" sind nach Riedler solche, welche mit Umlaufszahlen über den normalen der Dampfmaschinen (60—100) arbeiten. Die Expreſspumpen machen bis 300 Umdrehungen. Der noch ziemlich komplizierte Mechanismus der Zwangsschluſssteuerung der früher sogen. schnelllaufenden Pumpen ist bei jenen durch eine viel einfachere von Prof. Stumpf erdachte Einrichtung ersetzt. **Die Ventile**

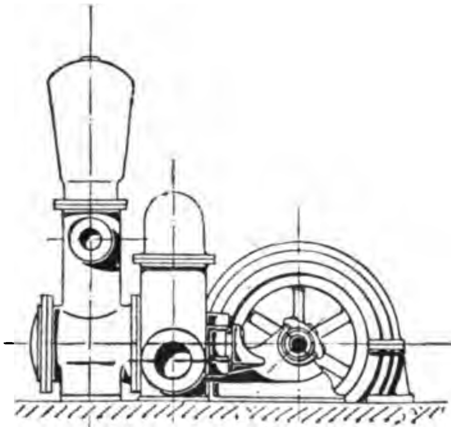


Fig. 218a.

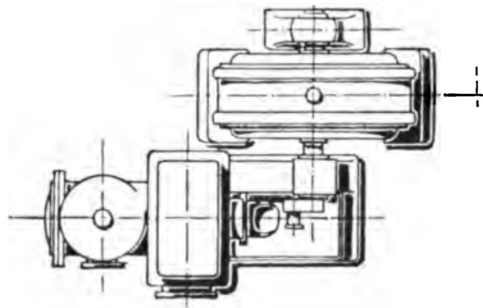


Fig. 218b.

werden nämlich durch den Pumpenkolben selbst „zwangsläufig" gesteuert. Fig. 217 zeigt uns eine solche Expreſspumpe im Durchschnitt. Es ist: *p* der Plunger; *s* das um diesen herum angebrachte, ringförmige Saugventil; *k* der Steuerkopf; *h* der Hubbegrenzer; *d* ein Deckel, durch dessen Öffnen Plungerkopf und Hubbegrenzer herausgezogen werden können, wodurch das Ventil zum Herausnehmen frei wird; *w* der Druckwindkessel; w_1 der Saugwindkessel. Der Wasserspiegel des letzteren liegt stets höher als das Saugventil; dadurch ist auch beim schnellsten Gange der Pumpe ein Abreiſsen der angesaugten Wassermenge unmöglich. Das für die Pumpe charakteristische, **horizontal liegende Saugventil** *s* öffnet sich am Anfange der Saugperiode selbstthätig und wird an deren Ende **zwangsweise durch den Plunger** geschlossen. Durch diese und andere Vorzüge werden hohe Umdrehungsgeschwindigkeiten,

stofsfreier, ruhiger Gang, leichtes Anlaufen, ein guter Wirkungsgrad und hohe Betriebssicherheit erhalten. Der Raum für die Wasserhaltungsmaschine ist äufserst klein. Die ganze Anlage gewinnt noch dadurch an Übersichtlichkeit, dafs sich alle Pumpenrohre unter dem Maschinenraume befinden. Den Zusammenbau von Pumpe und Motor zeigen Figur 218a und 218b in anschaulicher Weise. In Fig. 219 bringen wir eine Abbildung der von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft auf der Pariser Weltausstellung ausgestellten Pumpe. Der Drehstrommotor macht 300 Umdrehungen; der Betriebsdruck ist 20 Atm. Fig. 220 giebt eine Pumpenanlage für Schacht I und II der Herzoglichen Salzwerksdirektion Leopoldshall wieder, die inzwischen infolge Überhandnehmens der Wässer hat ausgebaut werden müssen. Jede der zwei Pumpen leistet 8 cbm minutlich bei 200 Umdrehungen und einer Förderhöhe von 360 m.



Fig. 219.

Nicht weniger interessant ist eine andere Art schnelllaufender Pumpen, die sogen. **Bergmannspumpe**, welche von dem Herrn Ober-

ingenieur Bergmann der Maschinenbauanstalt „Breslau" entworfen worden ist. Sie besitzt zwecks Erzielung eines ruhigen Ganges über dem gewöhn-

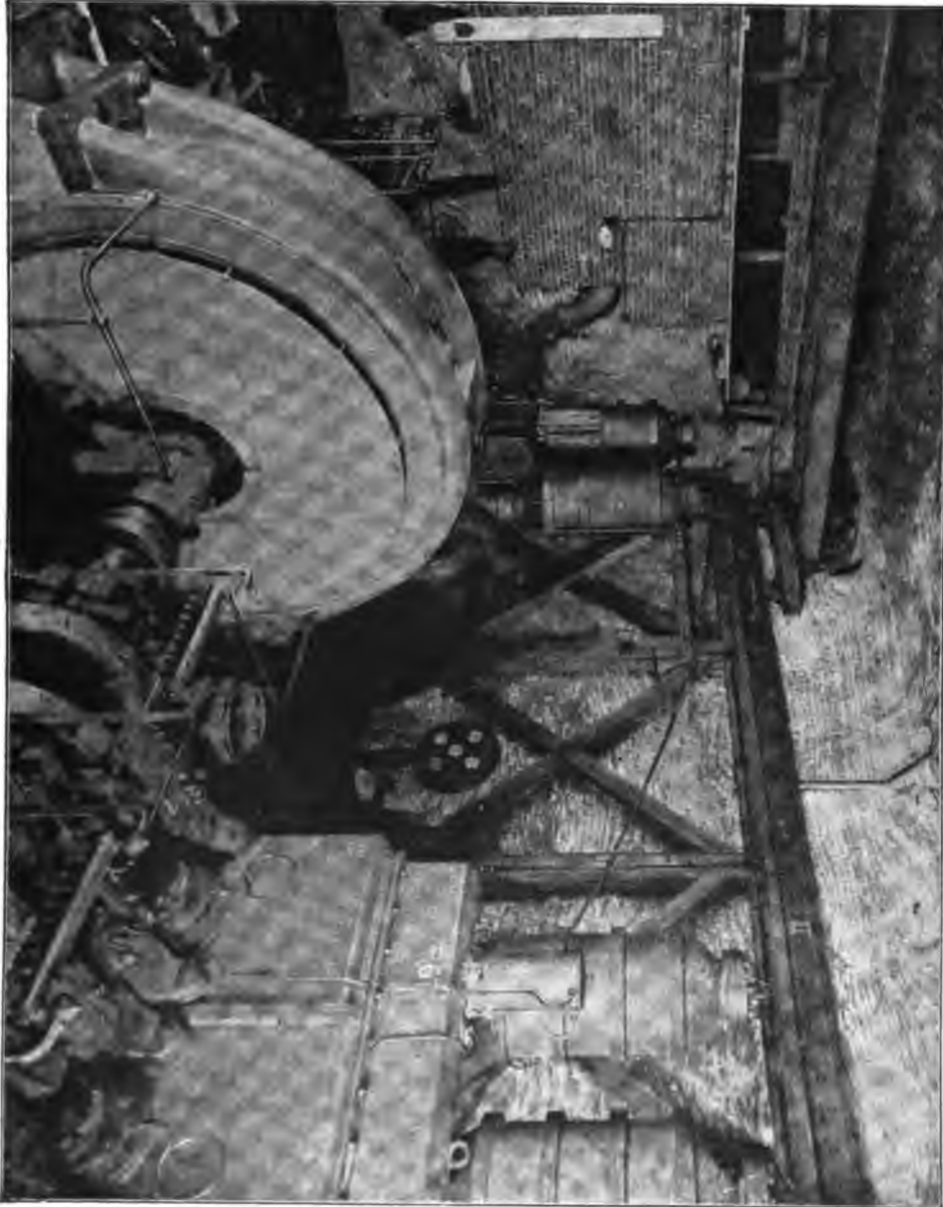


Fig. 220.

lichen Druckventil noch ein zweites. Sie hat sich ebenfalls schon in der Praxis bewährt. Wir führen hier als ein Beispiel die für die von Arnim-

schen Steinkohlenwerke zu Planitz bei Zwickau ausgeführte Wasserhaltung an, deren elektrischer Teil von S. u. H.-Ch. geliefert wurde (Fig. 221). Während bei den besprochenen Riedlerpumpen der Motor auf die eine Seite der Pumpenachse gesetzt war, sitzt er bei dieser Anlage in der Mitte der Kurbelwelle und treibt beiderseits eine Plungerpumpe an. Aus der Abbildung ist klar ersichtlich, welchen kleinen Raum die Maschine unter Tage beansprucht. Der betreffende Motor macht 145 Touren pro Minute bei einer Spannung von 500 Volts. Es wird minutlich 1 cbm auf 250 m gefördert. Welche hohe Betriebssicherheit man dem Drehstrommotor

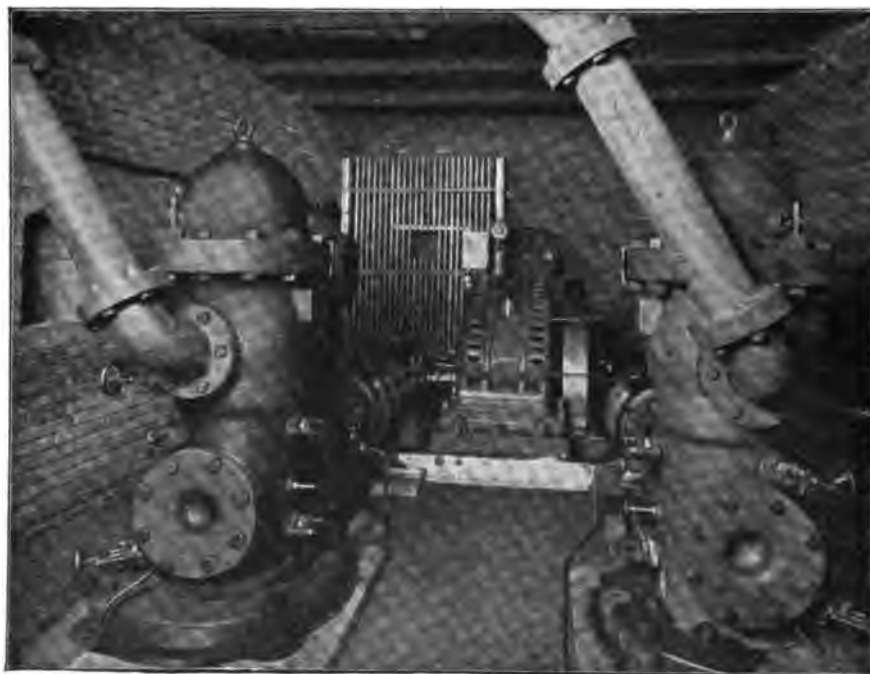


Fig. 221.

zutraut, beweist der Umstand, dafs sowohl in Leopoldshall als auch auf der Ferdinandsgrube bei Kattowitz O. S. für zwei Pumpen, von denen die eine als Reserve dient, nur **ein** Motor aufgestellt worden ist. Die Anlage auf der **Ferdinandgrube** (elektrischer Teil von S. u. H.) verspricht noch insofern recht bemerkenswert zu werden, als dort beide Arten der Schnellpumpen, nämlich die **Riedlerpumpe** (182 Touren bei 500 Volts und einer Leistung von 1,5 cbm auf 200 m) und die **Bergmannspumpe** (142 Touren bei 500 Volts, hebt minutlich 5,5 cbm auf 300 m Höhe), nebeneinander arbeiten.

Zu diesen beiden Pumpen gesellt sich in neuerer Zeit als Konkurrentin die **Exprefspumpe „Schleifmühle“** der Maschinenfabrik Erhard und Sehmer in Saarbrücken. Sie hat wieder über einander liegende Ventile und soll überhaupt ihrer Einfachheit wegen grofse Vorzüge besitzen.

Viel mehr wird der Drehstrom schon für den Betrieb von **Ventilatoren** verwendet. Man kann sich hierfür auch kein bequemeres Antriebsmittel als den Drehstrommotor denken. Er bedarf in diesen Fällen so zu sagen gar keiner Wartung. Ist er einmal angelassen, so



Fig. 222.

kann er wochen- und monatelang ohne besondere Aufsicht laufen. Dies ist besonders für solche Ventilatoranlagen, welche in gröfserer Entfernung von den Förderschächten, bei denen meistens die elektrische Zentrale liegt, auf den Wetterschächten sich befinden, ein sehr wesentlicher Vorteil. Es ist nur ein gewöhnlicher Wärter (eventuell sogar Invalide) nötig, der den Motor anläfst und, falls einmal der Strom ausbleiben sollte, durch ein automatisch gegebenes Signal davon benachrichtigt, ihn ausschaltet (so z. B. auf den Wetterschächten der

königl. Königsgrube bei Königshütte O. S. und der königl. Luisengrube bei Zabrze O. S.). Bei den Ventilatoranlagen der genannten



Fig. 223.

beiden Gruben sind Motor und Ventilator nicht direkt gekuppelt, sondern es ist eine Riemenübertragung gewählt worden. Durch Aus-

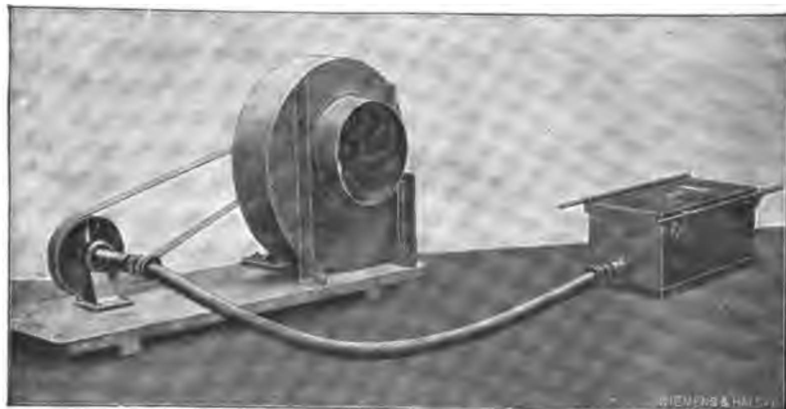


Fig. 224.

wechselung von Riemenscheiben verschiedener Durchmesser ist ein Mittel zur Regulierung der Tourenzahlen des Ventilators und damit

der erforderlichen Wettermenge vorhanden, ein Verfahren, das in seiner Ausführung allerdings etwas Zeit erfordert. — Eine andere mechanische Regulierungsweise, die viel für sich hat, würde die sein, daſs man

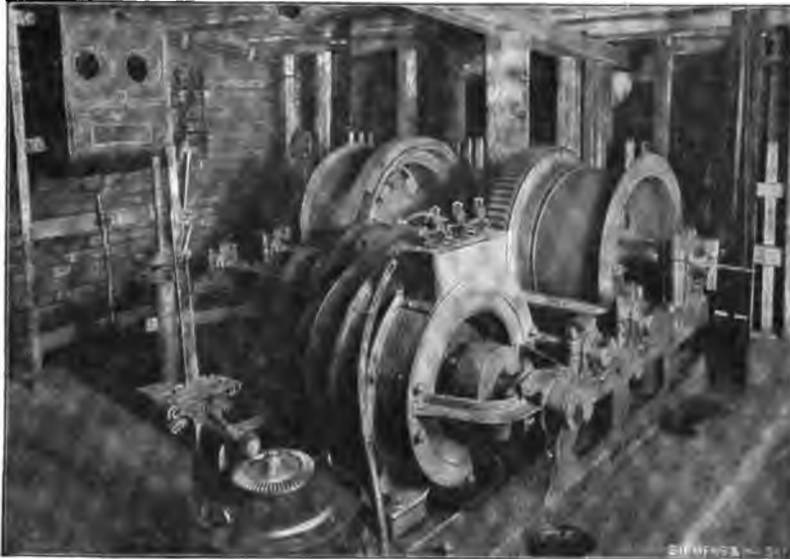


Fig. 225.

den Ventilator für die gröſstmögliche, bei Erweiterung des Grubenfeldes benötigte Wettermenge baut und nun den vorliegenden Gruben-

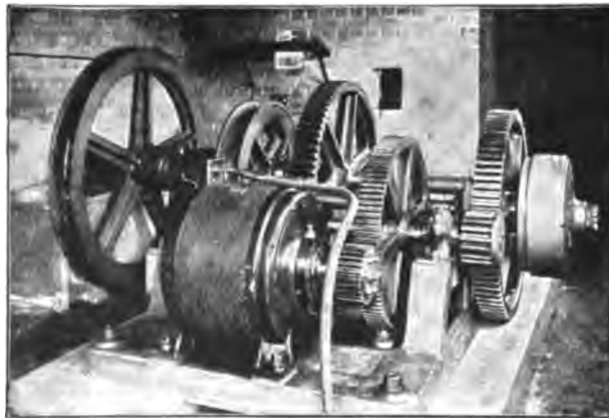


Fig. 226.

betriebsverhältnissen entsprechend die Luft bis auf das notwendig zu fördernde Quantum abdrosselt. Will man auf elektrischem Wege regulieren, so muſs man das eine oder andere der vorhin unter 1) bis 5)

aufgeführten Mittel wählen. Das erste derselben wird sich für Dauerbetrieb wohl am wenigsten eignen, da seine Anwendung mit großen Energieverlusten verbunden ist. Von 3) macht man mit Vorliebe in solchen Fällen Gebrauch, in denen die Zahl oder der Kraftbedarf der Ventilatoren so groſs ist, daſs sich die getrennte Aufstellung von Drehstromdynamos mit geringerer Periodenzahl für diesen Teil des Betriebes lohnt. Man könnte ja, wie dort bereits erwähnt wurde, einen Teil des (für Beleuchtung zu verwendenden) Stromes von höherer in solchen von geringerer Periodenzahl umformen. Freilich verschlechtert sich dadurch der Wirkungsgrad der gesamten Anlage. Wie aus Fig. 222 zu ersehen ist, hat man auch die Ventilatoren schon direkt mit dem Motor zusammengebaut. Bei diesem auf der Gabrielezeche

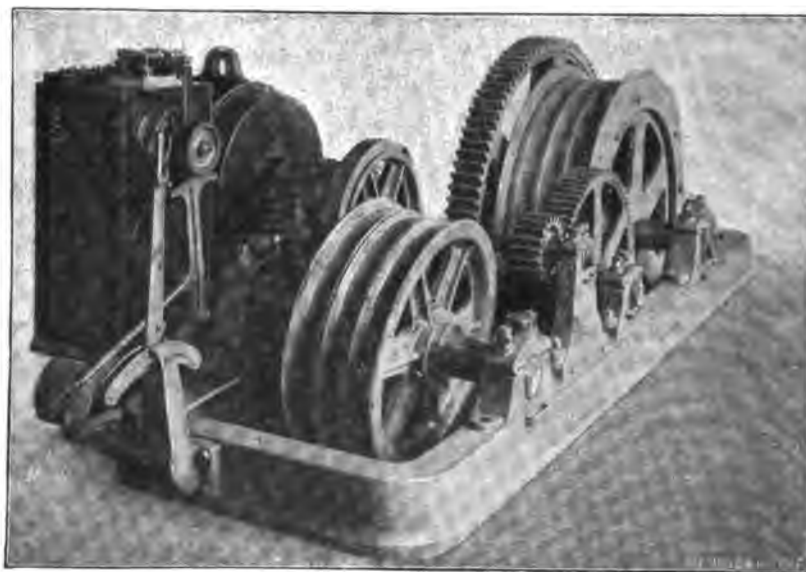


Fig. 227.

des Erzherzogl. Bergamtes zu Karwin in Österreich. Schles. eingebauten Wetterrade sind die Flügel direkt auf die Motorachse gesetzt, so daſs nur zwei Lager vorhanden sind. Der „Rotor“ ist mit Ankerwickelung und Schleifringen ausgestattet. Das Anlassen erfolgt durch einen dreiteiligen Flüssigkeitsanlasser (Figur links). Der Motor leistet 100 PS. Noch viel einfacher gestaltet sich die Aufstellung von Motoren für kleinere Ventilatoren, die für Separatbewetterung gedacht und daher von nur kleinen Abmessungen sind. Fig. 223 giebt einen stationären Ventilator wieder, der durch einen Drehstrommotor vermittelst Riemenübertragung angetrieben wird (Schu.-N.; Gewerkschaft Deutschland,

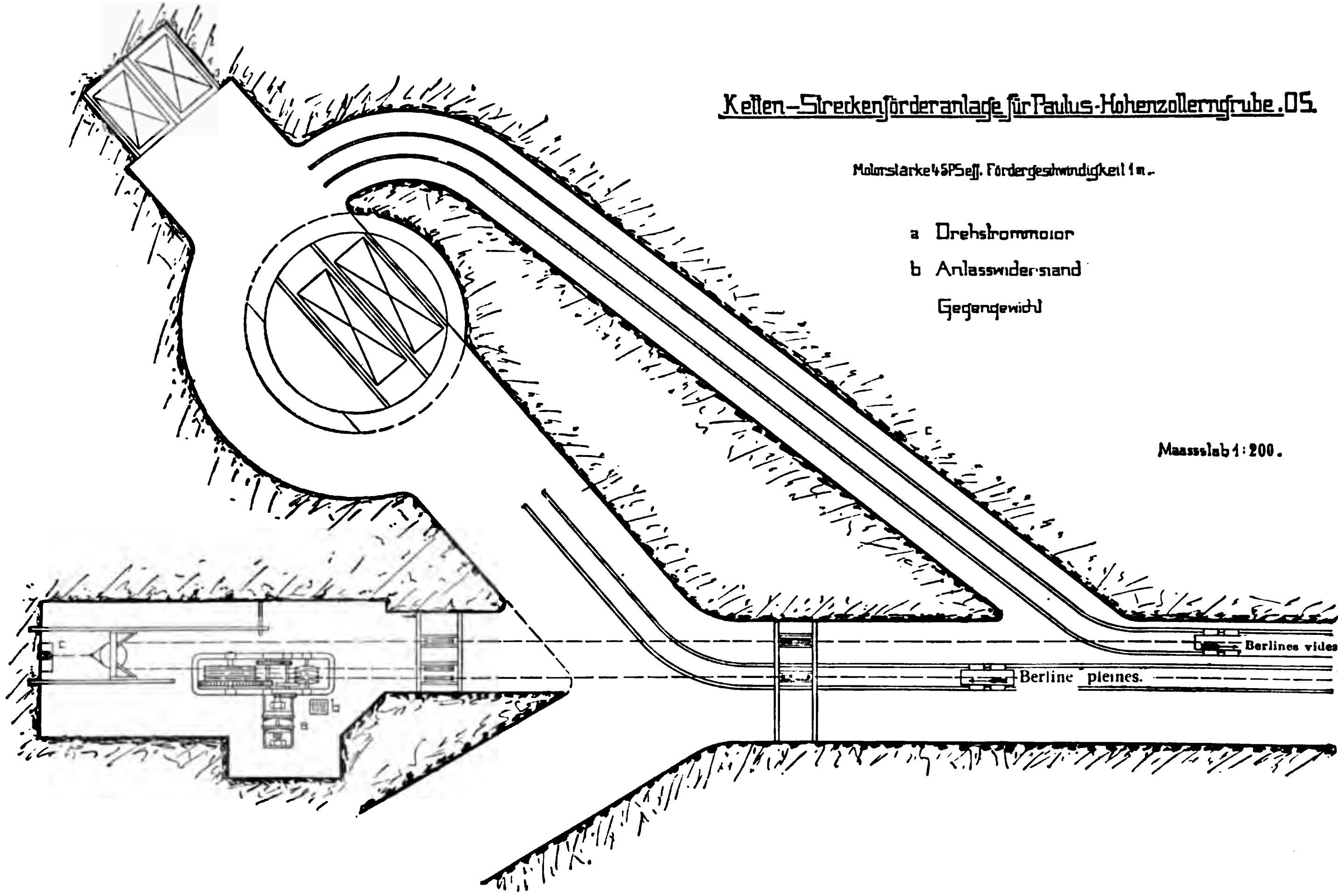

Ketten-Streckenförderanlage für Paulus-Hohenzollerngrube. OS.
Motorstarke 45PS eff. Fördergeschwindigkeit 1 m.
a Drehstrommotor
b Anlasswiderstand
Gegengewicht
Maassstab 1:200.
Berlines vides
Berline pleines.

Fig. 228.

Oelsnitz i. E.). Ist die Grube im Besitze Siemens'scher Bohrmaschinen irgend welcher Art, so kann ein kleinerer Ventilator während der Bohrpausen vermittelst der biegsamen Welle vom Motorkasten aus angetrieben und auf solche Weise zum schnellen Fortschaffen der bei der Sprengung erzeugten schlechten Wetter benutzt werden (Fig. 224).



Fig. 229.

Bei **Streckenförderungen**, wo nur geringe Geschwindigkeiten möglich sind, ist eine direkte Kuppelung des Motors mit der Seil- bezw. Kettentrommel wohl stets ausgeschlossen. Hier lassen sich Übersetzungen, welcher Art sie auch sein mögen, nicht vermeiden. In den meisten Fällen ist die Trennung der Reversiervorrichtung in

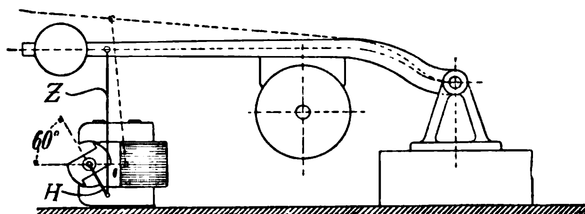


Fig. 230.

Gestalt eines dreipoligen Schalthebels (der wegen der in der Regel gleichbleibenden Bewegungsrichtung des Seiles bezw. der Kette nur wenig gebraucht wird) von dem Anlasser möglich. Dieser kann bei kleineren Motoren (bis 10 PS.) sogar durch eine Schaltungsvorrichtung im Anker selbst ersetzt werden. Bei Motoren dieser Art ist die Wicke-

lung des Läufers zweiteilig. Beide Teile sind im Augenblicke des Einschaltens hintereinander geschaltet und werden, nachdem der Motor bereits eine gewisse Tourenzahl erreicht hat, parallel geschaltet, wodurch die volle Umlaufszahl erreicht wird. Solche Motoren eignen sich vorzüglich zur Installation in Schlagwettergruben; denn es bedarf jetzt nur noch einer gasdichten Einkapselung des dreipoligen Umschalters, um die Bildung von Funken zur Unmöglichkeit zu machen. Fig. 225 zeigt einen derartigen Motor, der einen Fallerthaspel antreibt (S. u. H.:

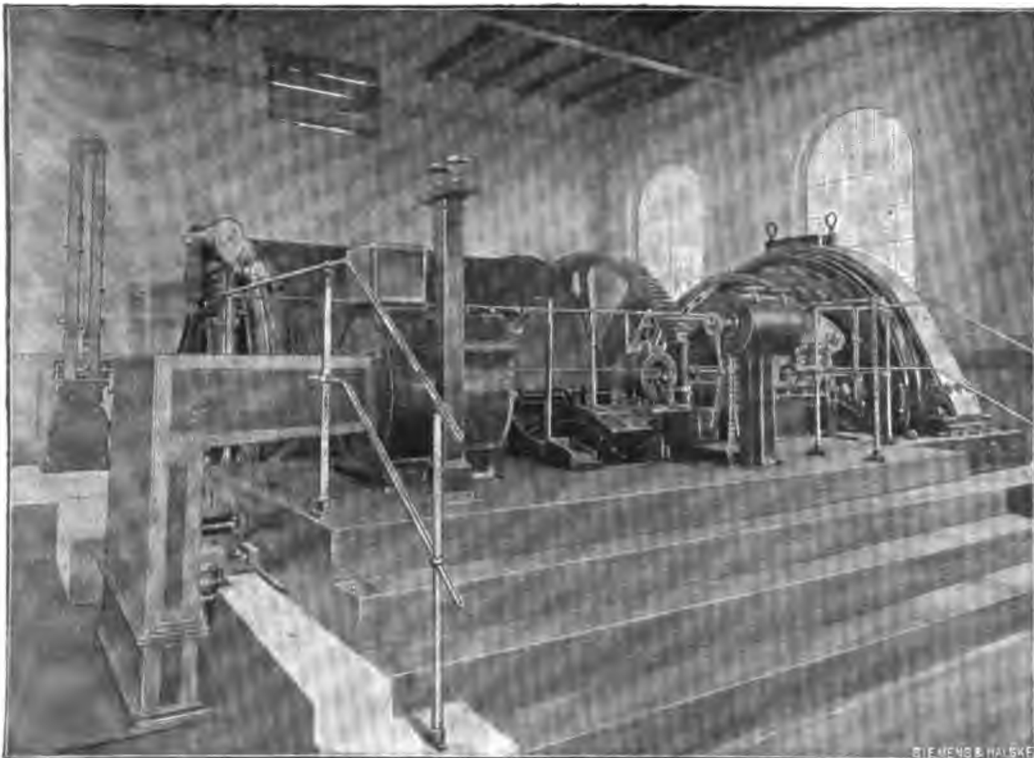


Fig. 231.

von Arnimsche Steinkohlenwerke zu Planitz bei Zwickau). Die vielfache Zahnradübersetzung wird am besten durch Fig. 226 veranschaulicht, die eine durch Drehstrommotor (vorne) angetriebene Seilförderung der Gewerkschaft Deutschland (Oelsnitz i. E.) darstellt (Schu. u. Co.). Bei Motoren gröſserer Leistung läſst sich selbstverständlich das Anlassen mittels Schleifringen und Anlasser nicht umgehen, wie dies aus der Fig. 227 ersichtlich ist, die eine Antriebsmaschine für die Kettenförderung der Paulus-Hohenzollerngrube b. Beuthen O. S. wiedergiebt.

(Motor von 50 PS., S. u. H.). Die Gesamtdisposition dieser Anlage veranschaulicht Fig. 228. Sollen die Motoren mit Anlafsapparaten in Schlagwettergruben Aufstellung finden, so mufs für hermetischen Abschlufs sowohl der Motoren als auch der Widerstände gegen die umgebende Luft gesorgt werden, was sich auch erreichen läfst.

Bei gröfseren Maschinen ist es sehr erwünscht, dafs im Falle einer etwaigen Einstellung der Stromlieferung eine selbsthätige Bremsung erfolgt. Dies wird durch sogen. „Bremsmagnete" erreicht. Wir wollen hier einen damit ausgerüsteten Haspel (Fig. 229 vorne) im Bilde vorführen. Die Anordnungsweise und das Funktionieren des „Bremsmagnetes" wird aus Fig. 230 klar.



Fig. 232.

Für gröfsere Schachtfördermaschinen wird man mit Vorliebe den Gleichstrommotor wählen wegen der Leichtigkeit, mit der dessen Tourenzahl innerhalb weiter Grenzen reguliert werden kann, was im allgemeinen beim Drehstrommotor nicht in so hohem Mafse der Fall ist. Liegt jedoch der betreffende Schacht in gröfserer Entfernung von der Zentrale, so läfst sich der Drehstrom nicht umgehen, es sei denn, dafs man ihn auf früher angegebene Weise in Gleichstrom umformt. Da dies naturgemäfs einer Verschlechterung des Wirkungsgrades gleichkommt, so hilft man sich dadurch, dafs man die Tourenzahl nach Methode 1) durch Einschalten von Widerstand in die Wickelung des

Läufers reguliert. Um die dazu erforderlichen Widerstände gegen allzu grofse Erwärmung zu schützen, ist eine entsprechende Dimensionierung und freie Aufhängung des Materials zwecks guter Ventilation nötig. Der eigentliche Anlasser besitzt bei den von S. u. H. ausgeführten Fördermaschinen die Form eines Gleichstromkollektors, dessen Lamellen in drei gleiche, den drei Phasen entsprechende Abteilungen geteilt sind, auf denen die drei Finger des Hebels schleifen. Der Umschalter wird getrennt davon angebracht. Elektrisch angetriebene Fördermaschinen, die anstandslos funktionieren, befinden sich auf dem



Fig. 233.

Hohenegger-Schachte zu Karwin und auf dem Erzherzogl. Albrecht-Schachte zu Peterswald (Österreich.-Schlesien). Die letztere Anlage ist die gröfsere und auch für **Personen**förderung eingerichtet. In Fig. 231 ist links der Anlasser, rechts der Drehstrommotor sichtbar (S. u. H.; Wiener Werk). Die Schachtteufe beträgt hier vorläufig 225 m, die gröfste Fördergeschwindigkeit 4,5 m, die Zahl der gleichzeitig geförderten Wagen 4, die Nutzlast pro Zug 2800 kg, die Tourenzahl des Drehstrommotors 150 pro Min. Die Trommeln besitzen einen Durchmesser von 3,5 m und eine Breite von 1,4 m.

In neuerer Zeit versieht man auch **Schrämmaschinen** mit elektrischem Antriebe, wie dies die Fig. 232 und 233 zeigen. Auf den Gruben der Akt.-Ges. Königs- und Laurahütte O. S. sind bereits solche Maschinen installiert; ebenso ist ihre Verwendung von der Kattowitzer Aktiengesellschaft für Bergbau und Hüttenbetrieb in Aussicht genommen.

Die **Gesteinsbohrmaschinen** der Firma S. u. H. können, da sie von dem Motor völlig getrennt sind, ebenso gut mit Drehstrommotoren als mit Gleichstrommotoren in Thätigkeit gesetzt werden. Man wählt dann Spannungen von 120 oder 210 Volts bei 50 Perioden pro Sek. Die gesamte Anordnung erfährt keine Änderung; nur der Motorkasten ist mit dem erforderlichen Drehstrommotor und Vorschaltewiderstand auszurüsten.

An dieser Stelle möge auch die **Union-Gesteins-Stofsbohrmaschine** Erwähnung finden, obgleich ihre Besprechung ebenso gut beim **Gleichstrom** hätte vorgenommen werden können. Diese Bohrmaschine ist die verbesserte Auflage der ersten elektrischen Bohrmaschine, die von Werner v. Siemens nach dem Solenoïdprinzip konstruiert wurde. Die

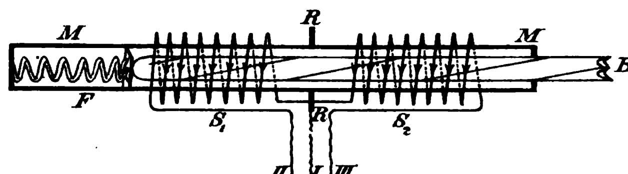


Fig. 234.

Einrichtung dieser Maschinen ist folgende (Fig. 234): Auf einen Messingcylinder *MM* von ca. 40 cm Länge und ca. 5 cm lichter Weite wird zunächst ein Glimmercylinder geschoben. Nun setzt man auf die Mitte dieses Rohres einen 3 cm breiten Ring (*RR*). Von geübten Wicklern wird alsdann auf beide Seiten quadratischer Kupferdraht (1,5 $\times$ 1,5 bis 2 $\times$ 2 qmm) gewickelt, wobei die einzelnen Windungen sorgfältig durch Glimmerringe bezw. -scheiben isoliert werden. Ist eine Lage fertig, so wird die so erhaltene Spule wieder mit einem Glimmermantel überzogen und darauf eine zweite in demselben Windungssinne darüber gewickelt. Dies Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis die nötige Anzahl von Windungen sich auf dem Rohre befindet*). Die beiden benachbarten Spulenenden werden an den Ring *RR* angelötet (*I*), während die anderen beiden zwar nicht vereinigt, aber doch auch

*) In Figur 234 ist der Einfachheit halber auf beiden Seiten nur je eine Windung angedeutet.

in die Nähe des Ringes geführt werden (*II* und *III*). Diese drei Leitungen gehen, zu einem Kabel vereinigt, zu einer besonderen, eigens für diese Bohrmaschinen konstruierten Dynamomaschine (Fig. 235, Anschlufsklemmen unten links). Die Achse des Ankers dieser Gleichstrommaschine trägt aufser dem gewöhnlichen Kollektor (rechts) noch eine zweite, **zweiteilige** Stromabnahmevorrichtung (links). Diese besteht aus einem geschlossenen (rechts) und einem aus zwei Halbkreisen bestehenden Metallringe. Auf diesem schleifen genau so wie auf dem ganzen Ringe und dem Kollektor Bürsten (auf dem geteilten Ringe hier je drei Kohlebürsten), die in aus der Figur erkenntlicher Weise mit einander durch Kabeldrähte verbunden sind. Durch diese Vor-

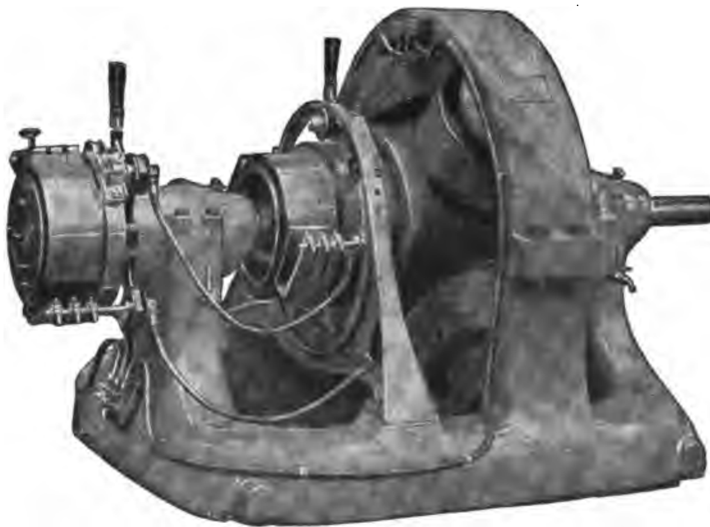


Fig. 235.

richtung (vor allem durch den in zwei Halbkreise geteilten Ring) wird bewirkt, dafs bald die eine Solenoïdhälfte (S_1), bald die andere (S_2) unter Strom gesetzt bezw. stromlos wird, und zwar wird dies so oft pro Minute geschehen, als das Ringsystem an der Dynamo in derselben Zeit Umdrehungen macht. Es wird eine Art von „pulsierendem Gleichstrom“ erzeugt, der fortwährend zwischen Null und dem Maximum schwankt. Dies hat zur Folge, dafs der Eisenkern *B* der Anzahl der Perioden entsprechend hin und her geschleudert wird. Vorne ist an dem Kerne der Stofsbohrer angebracht. Der Rückschlag wird durch die hinten angebrachte Feder aufgefangen. Das Ganze ist mit einem eisernen Schutzmantel umgeben, so dafs nur die Fassung für den Bohrer

und die Anschlufsklemmen für das Kabel sichtbar sind (Fig. 236). Um das bei einem Stofsbohrer durchaus notwendige „Umsetzen“ nach jedem Schlage zu ermöglichen, trägt die Stange *B* auf ihrem Umfange eine



Fig. 236.

Anzahl langgestreckter, schraubenartiger Windungen; ferner ist vorne ein Sperrklinkwerk angebracht. Die in Fig. 236 oben sichtbare Kurbel

dient in Verbindung mit der seitlich angebrachten Schraubenspindel zum Verschieben der Maschine bei der Bohrarbeit. Wie die Ausführung der letzteren sich gestaltet, zeigt die Fig. 237 (Elektrischer Stofsbohrer im Tagebau). Die hier beschriebene Stofsbohrmaschine der Un.-B. hat nach Angabe der Firma einschliefslich des vorstehenden Bohrkopfes eine Länge von 1150 mm, einen Durchmesser von 125 mm und wiegt samt Schlitten ca. 106 kg. Die Bohrlochdurchmesser schwanken zwischen 24 und 60 mm.



Fig. 237.

Über die Leistungen der Union-Bohrmaschine giebt folgende Tabelle Auskunft, welche die Arbeitsresultate in dem Erzherzoglich Friedrichschen Eisenstein-Bergbau zu Bindt liefert:

Art des Gesteins	Zahl der Bohrlöcher	Bohrlochtiefen in m	Leistung in 10 Minuten reiner Bohrzeit in cm	Leistung in 10 Minuten ganzer Bohrzeit in cm
Spatheisenstein, sehr fester Gang ..	6249	4501,19	44,13	14,20
Spatheisenstein, fester Gang	2021	1455,96	45,78	15,96
Sehr fester quarzreicher Schiefer ...	2081	1393,87	46,46	14,84
Fester Schiefer	3768	2805,00	53,57	17,60
Milder Gang und Schiefer	3489	2883,93	75,14	21,76

In dem betreffenden Berichte des Herrn Bergverwalters Dolz wird noch hervorgehoben, dafs sich nach drei Stunden die Maschine so stark erhitzt, dafs man gut thut, sie zwecks Abkühlung aufser Thätigkeit zu setzen und dafür eine bereit zu haltende Reservemaschine einzustellen. Nach den Angaben derselben Quelle verlangt eine Bohrmaschine einen Kraftbedarf von 4,58 PS. Arbeiten mehrere Maschinen gleichzeitig, so stellen sich die Zahlen günstiger: bei zwei Bohrern werden 4,08 PS., bei drei 3,89 PS., bei sechs nur ca. 3 PS. gebraucht. Berücksichtigt man, dafs die Luftbohrmaschinen 5—7 PS. benötigen, so ist das schon eine grofse Ersparnis.

Anderseits kann jedoch nicht geleugnet werden, dafs die Siemensschen Bohrmaschinen nur **800—900 Watt** (1—1,5 PS.) verbrauchen, was sehr für diese spricht und zwar besonders dann, wenn die Kohle am Verbrauchsorte teuer, eine billige Wasserkraft, die zur Erzeugung der nötigen elektrischen Energie herangezogen werden könnte, aber nicht vorhanden ist. Bei einer solchen Sachlage wird man auch die Kosten der Ersatzteile, welche nun einmal für die Siemens'schen Maschinen nötig sind, ruhig mit in den Kauf nehmen können. Steht jedoch eine billige Wasserkraft zur Verfügung (wie in Bindt), so dafs die elektrische Energie gewissermafsen gar nichts kostet, so würden die nach Angabe weniger reparaturbedürftigen Union-Maschinen in Betracht kommen. Wie man sieht, ist eine Entscheidung nicht immer leicht zu treffen.

Siebzehnter Vortrag.

Die elektrische Minenzündung im Grubenbetriebe.

Wir wollen unsere Betrachtungen über die zur Erzeugung elektrischer Energie dienenden Maschinen nicht schliefsen, ohne der Apparate zu gedenken, deren Anwendung bei der Schiefsarbeit in Zukunft vielfache Annehmlichkeiten mit sich zu bringen und manche Unglücksfälle zu verhüten verspricht — der elektrischen Minenzündapparate. Zwar hat man auch manche andere Mittel (wie Perkussionszündung nach Tirmann, Roth'sche Zünder etc.) verwendet, um namentlich in Schlagwettergruben die durch auftretende Funken, Ausbläser u. dgl. erzeugten Explosionsgefahren etc. zu vermeiden; doch hat ohne Zweifel keine andere Zündungsart so grofsen Anspruch auf Erfolg wie die elektrische.

Ihre grofsen Vorzüge lassen sich in folgenden Hauptpunkten zusammenfassen:

1) Es wird eine sichere und rasche Wirkung, selbst aus **gröfserer Entfernung** garantiert.

2) Man kann absolute Gleichzeitigkeit der Zündung mehrerer Ladungen erzielen.

3) Die Zündfähigkeit wird fortdauernd erhalten. Als Besatz kann sowohl Lehm, Wasser als auch Moos verwendet werden.

4) Ein nachträgliches Losgehen von Schüssen und damit verbundene Unglücksfälle sind ausgeschlossen.

5) Der Zeitpunkt der Zündung hängt ganz vom Belieben des Schiefsmeisters ab.

6) Sie ist in Schlagwettergruben das einzig sichere Mittel, Funken- oder Flammenbildungen, die zu Explosionen Anlafs geben können, zu vermeiden, denn die **Zündung erfolgt innerhalb des Bohrloches (Zentralzündung).**

7) Man kann sogar, wenn es erforderlich ist, bewirken, dafs die Schüsse hintereinander kommen (Zeitzünder).

Haupterfordernis für ein gutes Gelingen jeglicher Art von elektrischer Minenzündung ist die sorgfältige und gewissenhafte Ausführung aller Einzelnheiten der Zündungsart. Nur den aus Unwissenheit etwas zu sorglosen und unordentlichen Hantierungen mancher Grubenarbeiter ist es hauptsächlich zuzuschreiben, dafs die elektrische Minenzündung auf manchen Gruben nicht den nutzbringenden Erfolg hat, den man sich von ihr zu versprechen berechtigt ist.

Sehen wir vorläufig von der Art und Weise, wie die elektrische Energie erzeugt wird, ab, so können wir drei Arten der elektrischen Minenzündung unterscheiden:

I. Die Funkenzündung.
II. Die Glühzündung.
III. Die Spaltglühzündung.

Nach diesen Gesichtspunkten wollen wir hier unseren Gegenstand behandeln.

I. **Die Funkenzündung.** Wird in irgend einem Apparate elektrische Energie von **hoher Spannung** und geringer Stromstärke erzeugt und stellt man die Enden der von dem Apparate wegführenden Leitungsdrähte in einer gewissen Entfernung einander gegenüber, so findet zwischen den Endpunkten der Leitung der Ausgleich der Elektrizitäten in Form eines Funkens von augenblicklicher oder längerer Dauer statt, je nachdem die Stromlieferung momentan ist oder anhält. Die gröfste Entfernung der Drahtenden, innerhalb deren noch ein

Funke überspringt (Schlagweite), wird von der Gröfse der Spannung des Stromes abhängen. Kleben wir hier auf ein Glasrohr eine Anzahl (50 und mehr) rhombischer Stanniolblättchen, deren Ecken einige Zehntel eines Millimeters von einander entfernt sind, und legen wir an die Enden dieser Blättchenreihe die Leitungsdrähte einer allbekannten Elektrisiermaschine oder eines Funkeninduktors (s. Fig. 251a), so sehen wir bald eine der Zahl der Blättchen (— 1) entsprechende Anzahl von Funken, welche im Dunkeln den Eindruck einer leuchtenden Perlenkette machen. Würden wir auf jede der Unterbrechungsstellen der Blattreihe vorher einen empfindlichen Zündsatz (z. B. Schwefelantimon und Kaliumchlorat) gestreut haben, so hätten wir lebhaftes Aufblitzen bezw. eine kleine Detonation beobachten können.

Nach solchen Grundsätzen stellen wir nun auch unsere Zünder her. Ein zusammengedrehter, mit Guttapercha überzogener Kupferdraht (Fig. 238a) ist an seiner Umknickung (*b*) durchschnitten, so dafs



Fig. 238a.

die Enden einander gegenüber stehen. Diese Enden werden in einen (hier schwarz gehaltenen) Zündsatz geführt, der in eine Kupferkaspel (*k*) mit dem Knallsalze (Knallquecksilber) *a* gefüllt ist. Die Kapsel *c* ist durch einen festen Kitt und durch Einkneifen bei *c* dauerhaft an die Leitungsdrähte angeschlossen. Für Zündungen unter Wasser oder bei Wasserbesatz wird noch ein Gummischlauch zwecks besserer Dichtung darüber gezogen (Fig. 238b). Zünder von Bornhardt-Braunschweig.



Fig. 238b.

Ganz ähnlich ist die Beschaffenheit des Universalzünders der Fabrik elektrischer Zünder zu Köln am Rhein (Fig. 238c). Diese Gesellschaft (Fabriken in Troisdorf und Küppersteg) stellt auch noch eine besondere Art von Spaltfunkenzündern in der Weise her, dafs an die beiden blank geschabten Enden der Kupferdrähte ein beiderseits mit Galvanopapier beklebtes Kartonblättchen (ca. 10 mm lang und 2—3 mm breit, 0,8—0,9 mm dick)

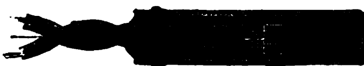


Fig. 238c.

gelötet wird, welches oben eine Zündpille nach Art der schwedischen Streichhölzer trägt. Dieses so vorgerichtete Ende wird in eine Messing- oder Papphülse gesteckt und letztere durch flüssigen Schwefel befestigt. Je nachdem nun der Widerstand dieser Zünder 2000—10000 Ω oder nur 10—500 Ω beträgt, verwendet man sie als „Spaltfunkenzünder" (für Stromspannungen von 50—100 Volts) oder als „Spezial- oder Spaltglühzünder" (für 6—10 Volts). Nach Einbringen des Zündsatzes wird dann in die Papp- oder Messinghülse die Kupferkapsel mit dem Knallquecksilber geschoben.

Letzteres fällt ebenso wie bei den vorhin beschriebenen Zündern weg, falls die Zünder nicht für hochbrisante Sprengstoffe (Dynamit, Roburit etc.) sondern nur zur Entzündung von **Schwarz**pulver gebraucht werden sollen. In diesem Falle sind die Zünder natürlich wesentlich billiger.

Überhaupt erfolgt der Versand meistens **ohne** die Sprengkapseln, welche für sich verschickt werden können.

Für Mehrzündung werden die Funkenzünder hintereinander geschaltet; dabei sind die einzelnen in den Bohrlöchern steckenden Zünder durch **isolierten** Draht in der Weise mit einander zu verbinden (Fig. 239),

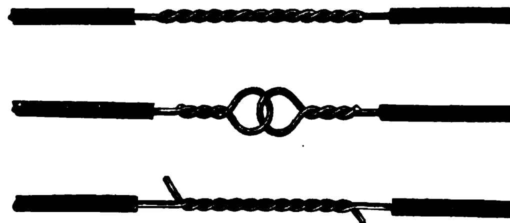


Fig. 239.

dafs keine Funken entstehen oder Ausströmungen von Elektrizität stattfinden können. Spitzen und dergl. sind mit einer Breitzange zu beseitigen, so dafs die Verbindungsstelle das in der Figur 239 zuerst

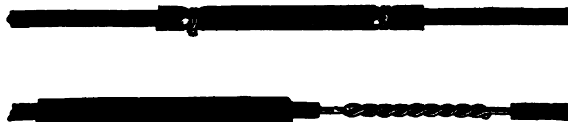


Fig. 240.

angegebene Aussehen annimmt. Ist der Ort sehr feucht, so werden über die Verbindungsstellen noch Gummiröhrchen geschoben und nach Fig. 240 befestigt.

An das eine Ende der Zünderreihe wird die „Hinleitung“ (Guttaperchadraht bezw. durch Glocken oder dergl. isolierter blanker Draht), an das andere die „Rückleitung“ (Guttaperchadraht, blanker Draht, Fe oder Cu, der feuchte Boden bezw. Wasserseige) unter Beobachtung derselben Maſsregeln wie vorhin gelegt. Am sichersten geht man, wenn man beide Leitungen (Hin- und Rückleitung) aus isoliertem Kupferdraht herstellt und sie an den beiden Seitenstöſsen bis vor Ort verlegt. Ein Kreuzen der Drähte ist jedenfalls stets zu vermeiden, da sonst leicht Funken überspringen könnten (auch trotz der Isolation), was in Schlagwettergruben verderbenbringend werden könnte. Ist die Leitung für längere Zeit an demselben Orte zu verlegen, so kann man zur Vorsicht nach Art der Telegraphenleitungen Isolatorglocken anbringen, welche die Leitung tragen und in die Stempel der Seitenstöſse eingeschraubt werden. Dieses Verfahren ist namentlich beim Schachtabteufen angebracht, wo unten der Platz schon reichlich knapp ist und daher die Sprengmaschine über Tage aufgestellt wird. Statt der etwas kostspieligen Isolatorglocken kann man sich auch mit Porzellanringen oder sogar mit durch Gummiröhrchen isolierten Nägeln behelfen.

Die Leitungsdrähte dürfen erst dann an die Zündmaschine angeschlossen werden, wenn sich die gesamte Belegschaft vom Orte zurückgezogen hat. Die nur einige Sekunden in Anspruch nehmende Zündung erfolgt am besten durch einen angestellten und gut ausgebildeten Schieſsmeister (Mährisch-Ostrau, Rheinisch-Westfälisches Steinkohlenrevier). Jedoch werden, wie später gezeigt werden wird, auch für Funkenzündung schon so handliche und — was für den einfachen Bergmann die Hauptsache ist — **handfeste** Apparate hergestellt, daſs alle Manipulationen sehr wohl von jedem einigermaſsen geschickten Häuer ausgeführt werden können.

Als Vorteile der elektrischen Funkenzündung werden angeführt:

1) Der Umstand, daſs die Zünder ungleichen Widerstand haben können (Abstand der Drahtenden meist 0,05—0,2 mm) und dennoch eine Menge Zünder gleichzeitig entzündet werden kann. (Bei gröſseren Maschinen 50—200.)

2) Die eveutuell sehr billige Herstellung der Leitung.

3) Die gleichfalls sehr billigen Zünder (namentlich diejenigen für gewöhnliches Schieſspulver).

Als Nachteil möchten wir hervorheben, daſs man sich von dem guten Zustande der einzelnen Zünder sowie der fertig gestellten Zündanlage nicht durch irgend eine Messung überzeugen kann, bevor man zum Abthun der Bohrlöcher schreitet.

Dieses ist dagegen bei der folgenden Zündungsart sehr leicht möglich und wird auch stets bei ihr gemacht.

II. Die Glühzündung.

Schicken wir in einen dünnen Platindraht einen Strom von **hoher Stromstärke** — wir nehmen hier einen Draht von 7—10 cm Länge und ca. 0,2—0,3 mm Dicke bei 7 Amp. —, so gerät er in helles Glühen, das eventuell in starkes Leuchten übergehen kann. — Prinzip der Glühlampe.

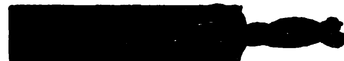


Fig. 241.

Demgemäfs ist die Beschaffenheit der „**Glühzünder**". Nachdem der Draht wie bei den Funkenzündern oben durchschnitten worden ist



Fig. 242.

und die Enden blank gemacht sind, wird zwischen beide Drahtenden ein sehr feiner Platindraht (5 mm lang und 0,03 mm dick) gelötet. Der Widerstand ist 0,4—0,6 Ω. Nun wird er ebenfalls in einer Hülse befestigt und diese mit Schiefsbaumwolle ausgefüllt. Die obere Öffnung wird, damit die Zündmasse nicht herausfallen kann, mit einem Seidenpapierblättchen verklebt. Meistens wird dann noch eine Messingkapsel über die Papphülse geschoben und mittelst Schwefel befestigt. Über diese Hülse (bezw. **in** dieselbe) schiebt man die Kupferkapsel mit dem Knallquecksilber (Fig. 241). Die beschriebenen Zünder sind „**Momentzünder**", d. h. die Zündung des Sprengmaterials erfolgt fast gleichzeitig mit dem Stromschlufs. Zuweilen wird jedoch verlangt, dafs eine gewisse Anzahl von zusammengeschalteten Zündern erst später als die übrigen explodiert. Zu solchen Zwecken verwendet man längere Zündkapseln mit auf einen längeren Raum ausgebreiteter Zündmasse (Fig. 242)*). In Fig. 243 sind Moment- (*a*) und „**Zeitzünder**" (*b*) hintereinander geschaltet. Da der Strom alle gleichzeitig durchfliefst,

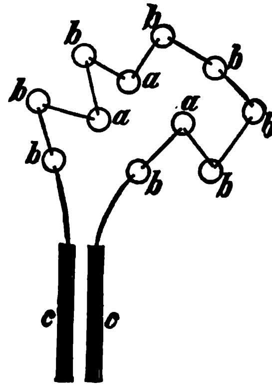


Fig. 243.

*) Zwischen dem Zündsatz und der Sprengkapsel ist eine längere oder kürzere Schicht langsam brennenden Pulvers bezw. ein Stückchen Zündschnur eingeschaltet. Seitlich angebrachte Löcher lassen die Pulvergase entweichen. Auch diese Zünder werden ebenso wie die zuerst genannten von der „Fabrik elektrischer Zünder", G. m. b. H. zu Köln a. Rh., geliefert.

so erfolgt die Zündung selbstredend bei allen in demselben Augenblicke. Die „Zeitzünder“ (*b*) explodieren jedoch erst später. Der Grad der Verzögerung richtet sich nach der Länge der eingeschalteten Pulversäule und kann auf Wunsch von der Fabrik verschieden bemessen werden (2—5 Sekunden Verzögerung). Bei Verwendung von Zeit- und Momentzündern in derselben Leitung wird man von dem Gedanken geleitet, daſs durch letztere die Spannung des Gesteins gelöst und so die Wirkung der Zünder *b* eine gröſsere sein soll. — **Bei dem Hintereinanderschalten von Glühzündern ist darauf zu achten, daſs alle Zünder möglichst denselben Widerstand haben.** Denn ein Nichtbeachten dieser Regel würde zur Folge haben, daſs allein die Zünder von höherem Widerstande zünden, da nur sie zum Glühen gebracht werden. Wir haben hier Platindrähtchen verschiedener Dicke zu einer Kette aneinander gereiht und schicken einen Strom hindurch: es kommen nur die aus dünnsten Drähten bestehenden Glieder der Kette zum hellen Glühen. Diesem wichtigen Umstande trägt die Fabrik dadurch Rechnung, daſs sie alle Zünder ohne Ausnahme nach Einbringung des Zündsatzes auf ihren Widerstand prüfen und die Zünder darnach sortieren läſst. Nur diejenigen Zünder werden zu einem Bündel vereinigt, deren Widerstände um weniger als $\frac{1}{20}\,\Omega$ von einander abweichen; nur sie werden als für „**Mehrzündung**“ geeignet verkauft. Hierauf wird in der Praxis häufig nicht genug geachtet. — Kommt es nicht allzu sehr darauf an, daſs alle Bohrlöcher gleichzeitig weggethan werden, so kann man sich bei Zündern von sehr ungleicher Beschaffenheit durch Parallelschalten derselben helfen (Fig. 244). Es werden beim ersten Stromschluſs die Zünder vom höchsten Widerstande losgehen, bei einem zweiten bezw. dritten die übrigen. Ja, man könnte sogar eine Art „successiver Minenzündung“ anwenden, indem man nach dem Schema Fig. 245 nach Vorschlag von Lauers einen Kontakthebel *H* nebst der nötigen Anzahl von Kontakten einschaltet und nun durch Schlieſsen der einzelnen Zweige die Bohrlöcher nach einander wegthut. Aber abgesehen davon, daſs diese Schaltungsweisen sehr viel Leitungsmaterial und einen geschickten Arbeiter erfordern, ist man bei ihnen auch niemals sicher, daſs nicht schon durch den ersten Schuſs alle anderen Verbindungsdrähte zerstört werden. Das Schema Fig. 243 ist demnach **unter Berücksichtigung der Gleichheit der Widerstände** immer das beste.

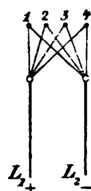


Fig. 244.

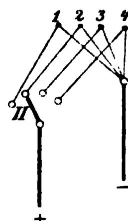


Fig. 245.

Die **Leitung** muſs, da mit hohen Stromstärken und niedrigen Spannungen gearbeitet wird, aus Kupfer (nicht unter 0,9 mm) be-

stehen. Die Verbindungen brauchen zwar nicht so sorgfältig wie bei der Funkenzündung hergestellt zu werden, doch kann ein bischen mehr Peinlichkeit beim Zusammenflechten durchaus nicht schaden. Am besten nimmt man auch hier isolierte Drähte. S. u. H. fabrizieren besondere **Minenzündkabel**, die sich gut bewähren (Fig. 246). — Sowohl die

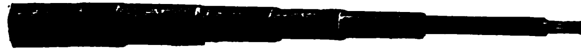


Fig. 246.

einzelnen Zünder als auch die gesamte fertige Leitung werden, bevor der Auschlufs an den Zündapparat erfolgt, mit dem „**Leitungsprüfer**“ derselben Firma geprüft (Fig. 247). Dieses sehr handliche Instrument besteht aus einem auswechselbaren (ca. 5—6 cm hohen) Hellesen-Trockenelement und einem Galvanoskop von hohem Widerstande. Zeigt das Instrument einen kräftigen Ausschlag, so ist alles in Ordnung und die Zündung kann erfolgen.



Fig. 247.

Wie man sieht, erfordert die Herstellung der Glühzünder etwas mehr Sorgfalt. Dafür ist aber eine vorherige Kontrolle der ganzen Zündungsanlage möglich, was oft von grofser Bedeutung sein kann.

III. Die **Spaltglühzündung** ist ein Mittelding zwischen den beiden vorhin beschriebenen Zündungsarten. Wir können dahin vielleicht auch die Induktionszünder und Brückenzünder rechnen, ohne näher darauf einzugehen. Es sei nur noch bemerkt, dafs bei den Brückenzündern durch eine etwas leitende Masse (Graphit oder Metallpulver) zwischen den Drahtenden gewissermafsen eine „Brücke“ für den Strom gebildet wird, daher der Name. „Die Spaltglühzünder vereinigen in sich die Vorteile der Glüh- und Funkenzündung und sind ohne deren Nachteile.“ **Sie sind die Zünder der Zukunft**, da sie auch in nassen Strecken verwendbar sind, mit dem Galvanoskop geprüft und mit billigen Leitungen versehen werden können.

Zu den beiden Teilen der Zündanlage: dem **Zünder** und der **Leitung**, kommt noch als dritter der **Zündapparat**. Bei seiner Konstruktion hat man im Laufe der Zeit so ziemlich alle Mittel, elektrische Energie zu erzeugen, in Anwendung gebracht. Man baut nämlich für:

Funkenzündung:
- a) reibungselektrische,
- b) magnetelektrische bezw. dynamoelektrische,
- c) induktionselektrische

Zündapparate,

Glühzündung:
- e) magnetelektrische Z.,
- f) dynamoelektrische Z., { Gleichstrom, Wechselstrom,
- g) galvanische Z. { α) galv. Elemente, β) Akkumulatoren.

Wir wollen hier die wichtigsten, soweit sie uns bekannt geworden sind und im Grubenbetriebe Verwendung gefunden haben, beschreiben.

a) **Reibungselektrische Zündapparate.**

Unter diesen hat sich die **Zündmaschine** des Hofmechanikers **Bornhardt-Braunschweig** bestens bewährt (Fig. 248). Eine mit Hülfe einer Kurbel zwischen einem Reibzeuge aus Pelzwerk (rechts oben) drehbare Hartgummischeibe *B* wird durch Reiben bekanntlich negativ elektrisch. Diese negative E. wird von dem aus Spitzen bestehenden Saugapparate *A* auf den inneren Belag einer Leydener Flasche (innen

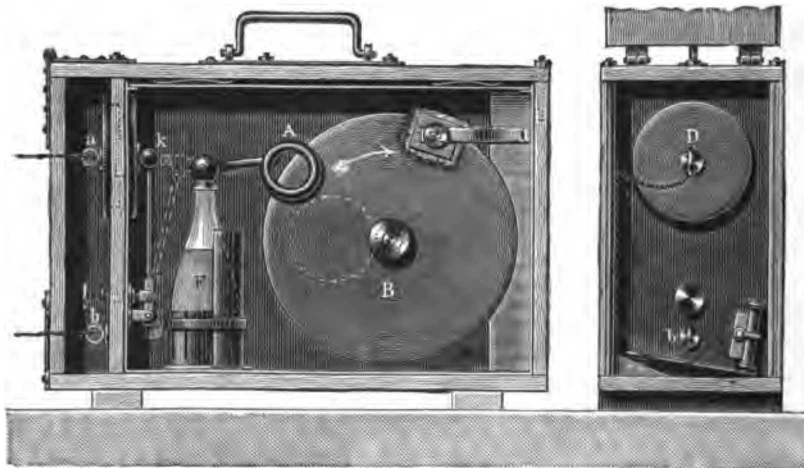


Fig. 248.

und aufsen mit Stanniol belegt, der obere Rand bleibt frei) geschafft, während das Reibzeug mit dem äufseren Belage in Verbindung steht; letzterer hat also + E. Beide Elektrizitäten halten einander fest, da sie durch den gut lackierten Rand der Flasche von einander getrennt sind; man kann so lange Elektrizität in der Flasche aufspeichern, bis diejenige Spannung gerade erreicht wird, welche ein Durchschlagen der Glaswand bewirken würde. Je dünner das Glas, desto mehr kann geladen werden, d. h. desto gröfser ist die „Kapazität" der Flasche. Der äufsere Belag (+ E,) steht mit der Öse *b* in Verbindung. Soll nun der Entladungsstrom in die äufsere Leitung, die in *a* und *b* ein-

gehängt wird, geschickt werden, so hat man vermittelst des vorne sichtbaren Knopfes die Kugel *K*, welche durch eine Spiralfeder mit *a* in Verbindung steht, gegen die Zuführung zur inneren Belegung zu drücken. Der Ausgleich zwischen der + und — E. der beiden Beläge erfolgt dann durch Funken in den Zündern. — Der ganze Reibungsapparat ist zum Schutze gegen Feuchtigkeit in einen oben durch eine Hartgummiplatte verschliefsbaren Metallkasten gesetzt, der nochmals in einen Holzkasten gestellt wird (Fig. 249). Dem Arbeiter sind infolgedessen nur die Ösen *a* und *b*, von denen *a* durch die Hartgummiplatte *D* gegen den Kasten isoliert ist, der Entladeknopf und die Kurbel zugänglich; letztere wird, falls die Maschine aufser Betrieb ist, vorne in



Fig. 249.

dem durch Deckel zu öffnenden Kasten untergebracht. — Ueber die Leistung der Maschine geben folgende Daten Auskunft: Bei 20—25 Umdrehungen wird ein Funke von 45—55 mm erzeugt*); es werden 15—20 Zünder gleichzeitig gezündet. Für gröfsere Leistungen und sehr grofse Entfernungen baut die Firma auch Maschinen mit zwei Hartgummischeiben und zwei Leydener Flaschen (70—90 mm Funkenlänge).

*) Vorne im Kasten ist seitlich (links) eine Reihe von Metallknöpfen angebracht, die durch Kettchen mit *a* und *b* verbunden werden kann. An dem Überspringen der Funken zwischen den Knöpfen erkennt man die Funktionierungsfähigkeit der Maschine.

Auf demselben Wege .erreicht die Aktien-Gesellschaft Dynamit Nobel-Wien eine höhere Leistungsrähigkeit ihrer ganz ähnlich gebauten Apparate (Fig. 250). In diesen rotieren nämlich **drei** Hartgummi-

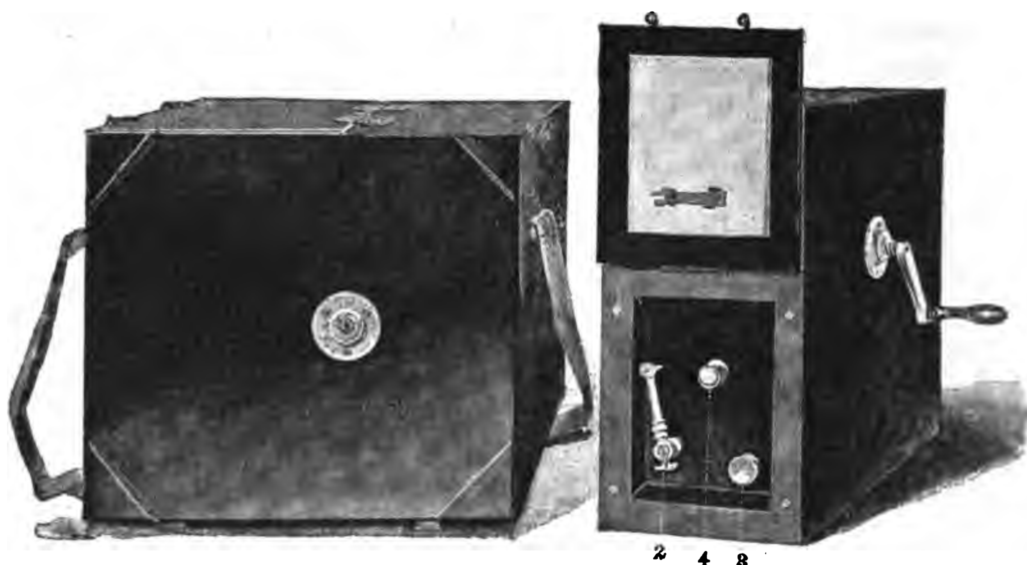


Fig. 250.

scheiben zwischen Pelzwerk. Statt der Leydener Flasche wird ein „**Gummikondensator**“ (beiderseits mit Stanniol beklebt) verwendet.

b) **Die magnet- und dynamoelektrischen Funkenzündmaschinen** unterscheiden sich von den unter e) und f) zu besprechenden Glühzündmaschinen nur durch die Wickelung des Ankers. Diese besteht, um eine hohe elektromotorische Kraft zu erzielen (s. Seite 51), aus zahlreichen Windungen dünnen Drahtes. Beispielsweise hat die „Funkenzündmaschine für einen Schufs“ der Troisdorfer Fabrik (Fig. 251) einen Siemens'schen T-Anker mit einer Bewicklung von 300 Ω Widerstand, während die ebenfalls für einen Schufs bestimmten Glühzündmaschinen eine Ankerbewickelung von 3 Ω Widerstand haben. Die kleine Maschine der Fig. 251 (Gewicht 2 kg) hat sich übrigens in



Fig. 251.

Westfalen gut bewährt. Der Stromschlufs wird nach erfolgter Kurbelumdrehung durch Drücken auf den oben sichtbaren Knopf bewirkt. Soll die Wirkung — z. B. bei gröfseren Entfernungen — eine etwas gröfsere sein, so werden einfach zwei dieser Maschinchen hintereinander geschaltet (+ und — verbunden) und nun durch gleichzeitiges Drehen beider Maschinen (nach Kommando) der Strom von höherer Spannung erzeugt*).

c) **Die induktionselektrischen Zündapparate.**

Schaltet man eine Spule aus wenig Windungen (s. Fig. 60) mit einer Stromquelle (Trockenelement, Akkumulator oder dergl.) und einem Stromunterbrecher, wie er bei den elektrischen Glocken wirksam ist (Fig. 33 u. 34), in Serie, so findet innerhalb eines Bruchteiles einer Sekunde ($\frac{1}{100}$ Sekunde und weniger) eine Unterbrechung des Stromes, innerhalb einer Minute also sehr viele Veränderungen des magnetischen Feldes der Spule (Primärspule) statt, indem der Strom zwischen Null und Maximum fortwährend schwankt. Schieben wir über diese Spule eine solche aus zahlreichen Windungen (1000—4000 m Drahtlänge), so werden in dieser Ströme von hoher Spannung erzeugt, die zwischen zwei mit den Enden der Sekundärspule in Verbindung stehenden Spitzen unter kräftigem Knattern und starker Funkenentwickelung übergehen. Die Ströme sind Wechselströme, s. S. 46 ff. Leiten wir diese hoch gespannten Wechselströme, die wir mit dem unter dem Namen **„Funkeninduktor"** beschriebenen Apparate erzeugen können, in unsere Bornhardt'schen Funkenzünder, so können wir diese genau so zur Explosion bringen, wie wir das mit den reibungselektrischen Apparaten gemacht haben.

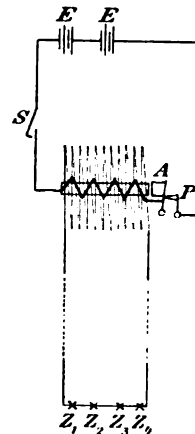


Fig. 251 a.

Solche Funkeninduktoren von kleinen Abmessungen werden zusammen mit einer Batterie von Trockenelementen bezw. Akkumulatoren und einem Stromschlufsknopf in einen Kasten eingebaut, und der induktionselektrische Zündapparat ist fertig. Apparate dieser Art scheinen noch keine rechte Aufnahme bei Minenzündung im Grubenbetriebe gefunden zu haben. — Das Schaltungsschema für unseren soeben angestellten Versuch ist das der Fig. 251 a. Es ist darin: *EE* zwei Trockenelemente bezw. Akkumulatorzellen; *S* ein Stromschalter;

*) Wir wollen hier nicht unerwähnt lassen, dafs der Roburit-Fabrik zu Witten a. d. Ruhr das Verdienst gebührt, der elektrischen Minenzündung in Westfalen Eingang verschafft zu haben.

A der Anker, welcher von dem in der primären Spule befindlichen Bündel von Eisendrähten abwechselnd angezogen und abgestofsen wird; *P* die Platinspitze; Z_1—Z_4 Funkenzünder.

d) **Magnetelektrische Glühzündapparate.**

Bei ihnen besteht das magnetische Feld, wie ja schon der Name sagt, aus zwei oder mehreren permanenten Hufeisenmagneten. Diese nehmen naturgemäfs mit der Zeit infolge von Erschütterungen an Wirkungskraft ab, was ja ein gewisser Nachteil sein würde, wenn sich das nicht durch erneutes Magnetisieren wieder gut machen liefse. Die Apparate sind fast ausnahmslos mit dem Siemens'schen Doppel-T-Anker versehen, welcher, da Ströme von geringer Spannung und grofser Stromstärke erzeugt werden sollen, stets mit einer Wickelung aus wenig Windungen dicken Drahtes ausgerüstet ist (Widerstand z. B. 3 Ω). Die Maschinen werden meistens als Wechselstrommaschinen gebaut.

Wir haben hier eine recht gut wirkende magnetelektrische Zündmaschine von S. u. H. (Fig. 252). Die Maschinen werden für verschiedene Leistungen (für gleichzeitige Zündung von ein, fünf oder zehn Zündern) gebaut. Der abgebildete Apparat hat zwei Hufeisenmagnete; der linke ist nur zum Teil dargestellt, um das Innere sichtbar zu machen. Die Maschinen sind so eingerichtet, dafs der Stromschlufs in der äufseren Leitung erst nach der fünften Umdrehung der Kurbel erfolgt. Die in ihrer Längsrichtung verschiebbar angeordnete Kurbelachse macht nämlich bei dem Beginn der Drehung eine Bewegung, wodurch das auf ihr befindliche Einzahnrad (unten links) zum Eingreifen in das darüber befindliche Malteserkreuz veranlafst wird. Letzteres wird mitgenommen und drückt nach fünf Umdrehungen die Kontaktnase (links oben) gegen eine Kontaktfeder, welche mit einer der Klemmen (hier der hinteren) in Verbindung steht. Dadurch wird der Strom geschlossen. Beim Loslassen der Kurbel schnellt das Malteserkreuz, nachdem es von dem Einzahnrad frei gegeben worden ist, durch eine Spiralfeder wieder in die Anfangslage zurück. Der

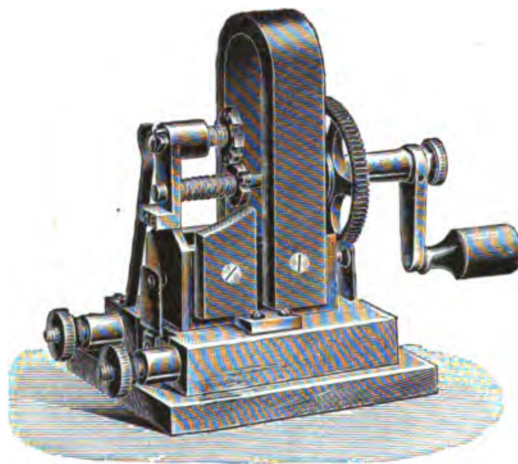


Fig. 252.

ganze Apparat wird in einem Holzkasten gut verschraubt und in einer Ledertasche bequem getragen (Fig. 253). Gewichte: 3, 5 und 7 kg mit Ledertasche.

Ganz ähnlich ist die kleine magnetelektrische Zündmaschine für 1 bis 5 Schuſs (2 kg Gewicht) der Fabrik elektrischer Zünder zu Köln a. Rh. eingerichtet, nur daſs der Stromschluſs nicht selbstthätig, sondern durch Aufdrücken auf den oben sichtbaren Knopf erfolgt (genau wie bei den Funkenzündmaschinen derselben Firma, Fig. 254).



Fig. 253.

Auch der magnetelektrische Zündapparat von Alois Zettler (München, Schillerstr. 17) zeigt dieselbe Ausführung. Nur ist die ganze Maschine zuerst noch in einen Kasten aus Zinkblech eingeschlossen, der wieder in einen solchen aus Holz gesetzt wird, so daſs der Schutz gegen Feuchtigkeit in der Grube ein möglichst weitgehender ist. Das Gewicht beträgt 7 kg; 50 **parallel** geschaltete Zündpatronen werden gleichzeitig abgeschossen.



Fig. 254.

f) Dynamoelektrische Minenzündapparate für Glühzünder.

Die Zündmaschine von S. u. H. (Fig. 255) wird dadurch vollständig bis zum Abschieſsen durch Stromschluſs bereit gemacht, daſs durch Drehen eines Handgriffes G eine kräftige Feder a aufgezogen wird, deren Energie in dem Augenblicke frei wird, wo man auf den Druckknopf D drückt und dadurch die Hemmung des Zahnrades R löst. Durch dessen kräftige Rotation wird vermittelst der Zahnräder $Z_1 Z_2 Z_3$ der Anker T der Nebenschluſsdynamo (Magnetschenkel SS) in Umdrehung versetzt und so der er-

forderliche Strom erzeugt. Dieser wird von den Bürsten bei C (Kommutator) abgenommen und zu den Klemmen L und L_1 geleitet, an welche die äufsere Leitung (rechts) angeschlossen wird (Fig. 255). Die Leitung vom Kommutator nach L_1 ist bei k so lange unterbrochen, als nicht die Feder F gegen k gedrückt wird. Dies geschieht dadurch, dafs im Augenblicke der maximalen Erregung der Nebenschlufswickelung (der Feldmagnete) die durch eine feste Übersetzung mit der Achse A verbundene Nase N an F und diese damit an k gedrückt wird. Die Figur 256a giebt den Apparat von oben und Fig. 256b ihn von hinten gesehen wieder, während Fig. 257 ihn in einer Ledertasche

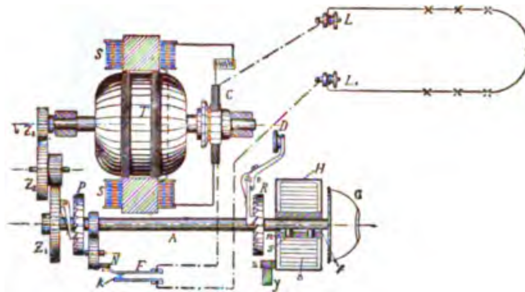


Fig. 255.

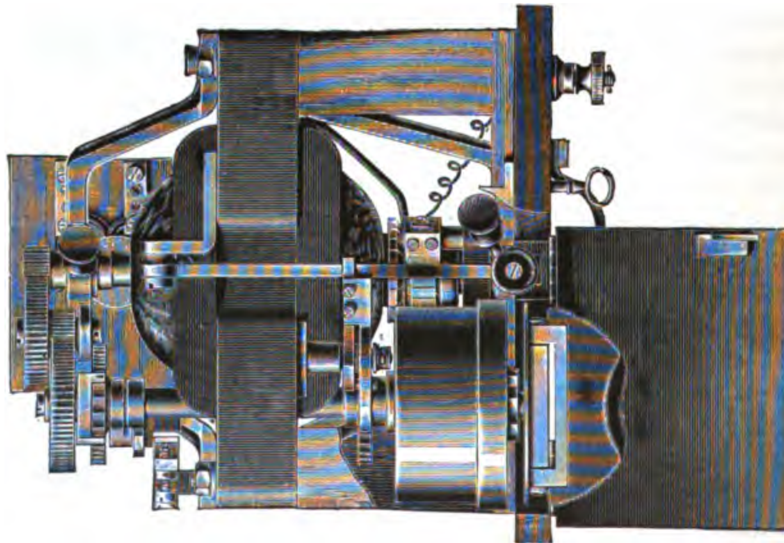


Fig. 256a.

untergebracht zeigt. Das Gewicht der Maschine beträgt 11 kg, die Leistung 70 Watt. Es werden 60—80 Zünder in Serienschaltung bei einer Entfernung von 600 m gleichzeitig zur Entzündung gebracht.

Die Maschinen werden in letzter Zeit in etwas abgeänderter Form für noch gröfsere Leistungen gebaut.

Das Äufsere der Glühzündmaschinen der vorhin genannten Kölner Fabrik zeigen uns die Fig. 258 (für 15 Schufs, Gewicht 7,8 kg) und Fig. 259 (für 50 Schufs, Gewicht 17,5 kg). Bei der ersteren ist eine Kurbel zu drehen; bei der letzteren mufs ein Griff heraufgezogen und dann kräftig nach unten gestofsen werden.

Die kleine Taschenzündmaschine „Gnom“ (für Einzelzündung“, Fig. 260) ist dadurch bemerkenswert, dafs dort die erforderliche Energie durch plötzliches Abreifsen bezw. Annähern eines Spulenpaares an einen Hufeisenmagneten erzeugt wird.

Die innere Einrichtung der Maschine Fig. 259 weicht nicht allzusehr von derjenigen der in Fig. 261 dargestellten dynamoelektrischen

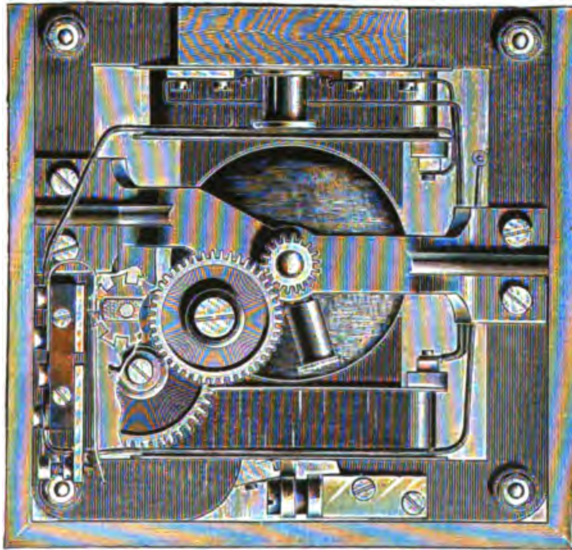


Fig. 256 b.

Minenzündmaschine der Aktien-Gesellschaft Dynamit Nobel-Wien ab. Beim Niederstofsen des Griffes wird der Anker in schnelle Rotation versetzt und unmittelbar darauf der Kontakt links unten geöffnet, wodurch der Strom der bis dahin in sich kurz geschlossenen Maschine auf die äufsere Zündleitung geschaltet wird.

g) Galvanische Zündung.

Für diese Zündungsart kann man sowohl galvanische Elemente als auch Akkumulatoren verwenden. Falls man sich für die ersteren entscheidet, hat man die Auswahl zwischen Bunsen-, Daniell-, Leclanché-, Taucher- und Trockenelementen zu treffen. Die letzteren waren bisher

wegen ihres grofsen inneren Widerstandes nicht gerade sehr für den gedachten Zweck geeignet. Neuerdings werden jedoch von der Trockenelemente-Fabrik in Ludwigshafen „Columbus“-Elemente*) in den Handel gebracht, die eine ziemlich grofse Stromstärke bei Kurzschlufs zu haben scheinen (18—25 Amp.). Eine möglichst hohe Stromstärke ist aber immer das Haupterfordernis. Man wird dementsprechend die Elemente parallel (Fig. 26) oder auch nach Fig. 27 schalten müssen. — Äufserst bequem sind ohne Zweifel die Akkumulatoren, die ja auf jeder Grube leicht geladen werden können, da jedes gröfsere Bergwerk heutzutage im Besitze einer elektrischen Lichtanlage ist. Die Ladevorschriften werden von den Akkumulatorenfabriken jedem Akkumulator beigegeben (s. auch den 18. Vortrag). Von dem noch guten Zustande der Akkumulatorzellen überzeugt man sich oberflächlich durch Einschalten einer kleinen Glühlampe. Brennt diese hell, so sind die Zellen noch verwendungsfähig; tritt dagegen nur ein dunkelrotes Glühen des Fa-



Fig. 257.

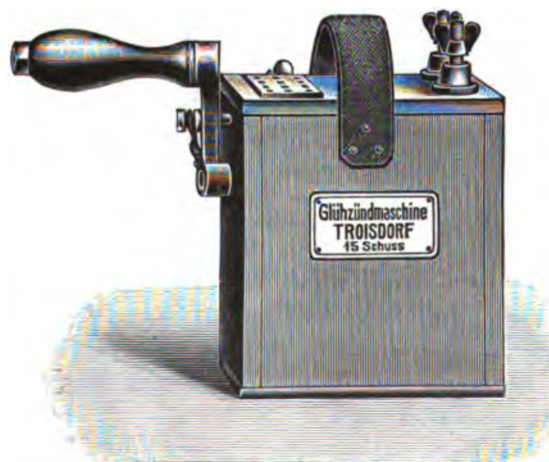


Fig. 258.

*) Man ergänze deren Konstanten in der Tabelle Seite 21 durch folgende Angaben der Firma: E. M. K.: 1,5—1,6 V. w für B_0: 0,2; B_1: 0,1; B_2: 0,09

dens auf, so mufs frisch geladen werden. Noch besser ist es, ein geeignetes Voltmeter anzulegen; jede Zelle mufs frisch geladen 2,5, kurz nach Beginn der Entladung 2,2 Volts zeigen; sinkt die Spannung



Fig. 259.

unter 1,85 Volts, so darf die Batterie nicht mehr gebraucht und mufs zur Zentrale zwecks Neuladung gegeben werden. Da für jeden Akkumulator, je nach der Kapazität*), eine bestimmte Maximalstromstärke vorgeschrieben ist, die bei der Entladung unter keinen Umständen überschritten werden darf, so wird man nach Fig. 262 folgende Instrumente in Serie schalten: $EE = 3$ Akkumulatoren; $S =$ Sicherung, ein Bleidraht, der bei einer bestimmten Stromstärke durchschmilzt, dadurch die Leitung unterbricht und so ein Überschreiten der Maxi-

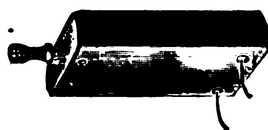


Fig. 260.

und B_3: 0,075 Ω. Kurzschlufs = J: 7,5—8,0; 15—16; 16,6—17,8; 20—21 Amp. Für die Hellesen-Elemente ist: E. M. K. 1,5 V.; w_i: 0,1—0,5 Ω; J: 15—3 Amp.; $J.E.$: 22,5—4,5 W. — S. u. H. bauen neuerdings solche Apparate (37×103×174 mm; 1 kg Gew.; 6 Elemente. Leistung: 3 Glühzündpatronen bei 2 Ω Leitungs-W.

*) Kapazität = Anzahl der Ampèrestunden. Hat z. B. ein Akkumulator eine Kapazität von 48 Ampèrestunden, so kann er zehn Stunden lang einen Strom von 4,8 Amp. oder sechs Stunden einen solchen von 8 Amp. liefern etc.

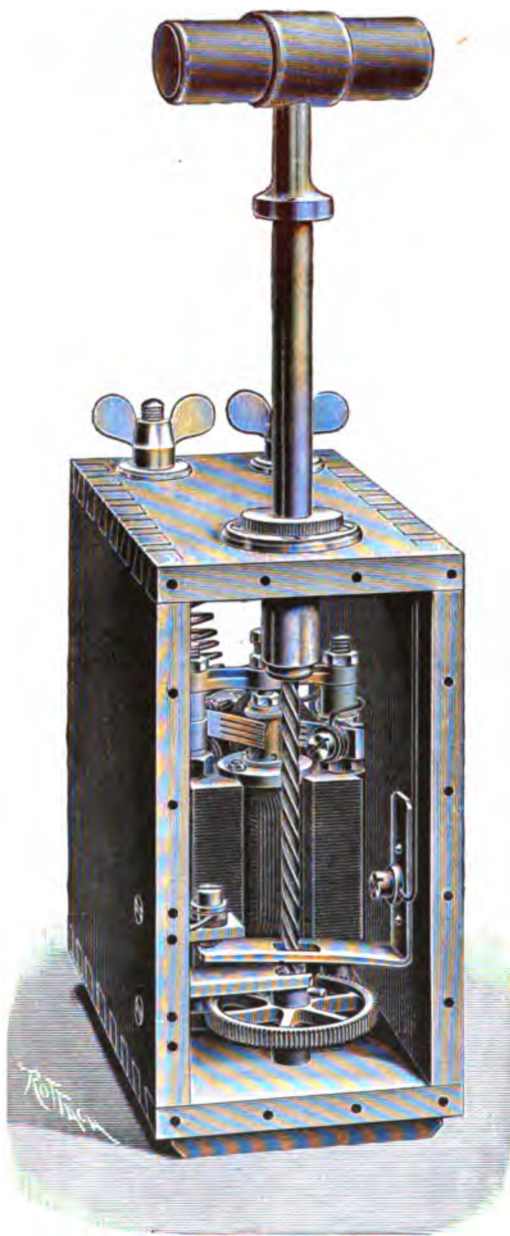


Fig. 261.

malstromstärke unmöglich macht; *W* ein Drahtwiderstand mit Kontakten; *A* ein Ampèremeter; *K* ein Stromschliefser; $Z_1 - Z_5$ Glühzünder. — Nach dieser Versuchsanordnung wollen wir hier zehn in Serie geschaltete Glühzünder mit einer Akkumulatorenbatterie von drei Zellen (Kapazität 40 Ampèrestunden; Maximalentladestromstärke 10 Amp.) zur Entzündung bringen. Die Zündung geht bei 7 Amp. glatt von statten. Das Ampèremeter wird man, falls Akkumulatoren, Sicherung, Widerstand und Kontakt *K* zu einem Apparat zusammengebaut werden, weglassen und die Stromstärke durch Drehen an *W* regulieren. — Apparate dieser Art werden von der Zünderfabrik zu Köln a. Rh. gebaut. — Wie bei allen Glühzündungen mufs die Leitung von hinreichend grofsem Querschnitt sein und aus Kupfer hergestellt werden.

Stellt man nun einen Vergleich zwischen den im Vorstehenden aufgeführten Apparaten an, so ist wohl ohne weiteres einzusehen, dafs die unter a) und c) beschriebenen Zündmaschinen in Schlagwettergruben wegen der gar zu leicht möglichen Funkenbildung mit Vorsicht zu gebrauchen sind. In einigen Revieren ist ihre Verwendung direkt verboten. Andererseits steht ohne Frage fest, dafs

gerade diese Maschinen für das gleichzeitige Abthun einer grofsen Anzahl von Funkenzündern äufserst brauchbar und dafs letztere sehr billig sind. Die induktionselektrischen Maschinen haben noch vor den reibungselektrischen den Vorzug, dafs sie von atmosphärischen Einflüssen durchaus unabhängig sind und an feuchten Orten ebenso gut wie an trockenen funktionieren. Doch ist der Nachteil bei den Maschinen unter a) nicht so bedeutend, als manche anzunehmen nur zu geneigt sind.

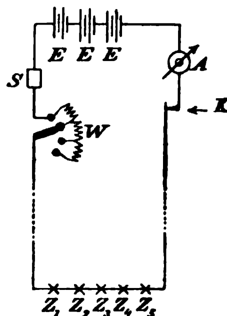


Fig. 262.

Von den Maschinen b) und d) eignen sich die kleineren Maschinen sowohl wegen ihres geringen Gewichtes (2 kg) als des niedrigen Anschaffungspreises recht gut für die Grube. Die Apparate werden von den betreffenden Firmen äufserst solide und dauerhaft gebaut und genügen meistens für alle in der Grube vorkommenden Fälle der Schiefsarbeit. Denn die „Einzelzündung“ spielt doch eine grofse Rolle — besonders im Kohlenbergbau. In Westfalen darf laut bergpolizeilicher Vorschrift in Kohle sogar immer nur **ein Schufs** zur Zeit abgegeben werden.

Zum Schachtabteufen und Vortreiben von Strecken wird man mit Vorliebe zu den gröfseren Maschinen der Gattungen b) und d) sowie zu den dynamoelektrischen Apparaten greifen.

Die Zündung mit Akkumulatoren etc. soll sich in einigen Gruben schon gut bewährt haben. Von Lauer behauptet von ihr, dafs sie in Schlagwettergruben allen anderen Methoden überlegen sei; doch mufs diese Behauptung erst noch durch eingehende Versuche bekräftigt werden. Zur Zeit ist man jedenfalls mit den von der Kölner Fabrik elektrischer Zünder gelieferten magnetelektrischen Maschinen für „Einzelzündung“ auf westfälischen Gruben recht zufrieden.

Ob man in Schlagwettergruben noch weiter gehen und zu der sicheren elektrischen Zündung auch einen Sicherheitssprengstoff — etwa „Roburit“ (Westfalen, z. B. Zeche „General Blumenthal“), Progressit (Mährisch-Ostrau, „Tiefbauschacht“), „Dahmenit“ etc. — nehmen will, müssen die näheren Umstände entscheiden. Jedenfalls ist es kein geringes Verdienst der Wittener Roburitfabrik, die zusammen mit der „Fabrik elektrischer Zünder“ zu Köln a. Rh. arbeitet, gleichzeitig mit ihrem Sicherheitssprengstoff „Roburit“ die **elektrische Minenzündung** weiter verbreitet zu haben.

Welche Fabrik die besten Zündmaschinen bezw. Zünder liefert, ist schwer zu entscheiden; jede Maschine dient eben nur einem ganz bestimmten Zwecke, der von den örtlichen Verhältnissen gegeben ist.

Als Regel darf man aber wohl hinstellen, dafs man zu jeder Zündmaschine auch die Zünder nehmen soll, welche die Fabrik für jene empfiehlt; denn nur diese sind den Stromverhältnissen der betreffenden Maschine angepafst. Auch in dieser Hinsicht ist viel gefehlt worden und darauf mancher scheinbare Mifserfolg der elektrischen Minenzündung zurückzuführen.

Achtzehnter Vortrag.

Die elektrische Beleuchtung. Glühlicht und Bogenlicht.

Wiederholen wir den im 5. Vortrag (S. 27) vorgeführten Versuch derart, dafs die Stromstärke bis zum hellen Leuchten des Platindrahtes gesteigert wird, so haben wir damit kurz das Wesen der **Glühlampe** geschildert. Indem wir einen Leiter von hohem Widerstande in den Stromkreis einschalten, wird elektrische Energie in Licht verwandelt. Leider wird jedoch der gröfste Teil der ersteren in Wärme umgesetzt, was den „Wirkungsgrad" einer Glühlampe nicht wenig beeinflufst.

Es hat sich herausgestellt, dafs der Kohlefaden (durch Verkohlung von Cellulosefäden erhalten) das beste Material für den zum Glühen zu bringenden Teil ist. Ein kleiner Nachteil ist nur der, dafs der Widerstand des Kohlefadens mit der Temperatur sinkt, gerade umgekehrt wie bei Metallfäden. Ein einfacher Versuch überzeugt uns davon. Ein Trockenelement, ein geeigneter Widerstand, eine Glühlampe gewöhnlicher Konstruktion und unser Galvanometer (Fig. 19) werden in Serie geschaltet: das letztere zeigt einen schwachen Ausschlag. Wir tauchen nun bei geschlossenem Strom die Glühlampe in siedendes Wasser (noch besser Öl); der Ausschlag wird bedeutend gröfser, ein Beweis, dafs der Widerstand des Kohlefadens abgenommen hat. Mit diesem Umstande mufs bei der Bemessung der Dimensionen des Kohlefadens gerechnet werden; sein Widerstand mufs in kaltem Zustande wesentlich gröfser als der im warmen zur Erzeugung der Lichtstärke erforderliche sein.

Der Faden wird nach geeigneter Methode in eine Glasbirne eingeschmolzen und diese dann nahezu luftleer gepumpt und zugeschmolzen. Den hohen Grad der Luftverdünnung erkennnen wir an der Thatsache, dafs eine Glühlampe, wenn man unter Wasser die Spitze abfeilt, sich fast ganz mit Wasser füllt.

Doch wozu dieser stark luftverdünnte Raum? Darüber giebt uns folgender Versuch Aufschlufs. Eine noch gar nicht gebrauchte Lampe werde in den Stromkreis eingeschaltet: sie brennt hell und klar. Wir feilen auch jetzt die Spitze ab; sofort bemerkt man ein lebhaftes Aufsprühen an einzelnen Stellen des Fadens und darauf völliges Erlöschen der Lampe. Der Kohlefaden verbrennt, wie nicht anders zu erwarten ist, in der Luft.

Sorgfältig angestellte Versuche haben ergeben, dafs eine Glühlampe durchschnittlich pro Lichteinheit (Normalkerze bezw. Hefnereinheit) 3,5 Watt verbraucht*). Die gebräuchlichen Lampen haben eine Lichtstärke von 16 Kerzen, verbrauchen also $3{,}5 \times 16 = 56$ Watt. Diese Energie könnte man entweder durch grofse Stromstärke und geringe Spannung oder durch geringe Stromstärke und hohe Spannung erzielen. Das letzte Mittel ist jedoch, wie uns die Betrachtungen des 13. Vortrages gelehrt haben, für eine rationelle Energieübertragung bei geringem Kupferquerschnitt (möglichst billige Leitung) das einzig richtige. Die Zentralen für Glühlichtbeleuchtung haben daher heutzutage wohl selten weniger als 110 Volts Betriebsspannung. Für eine solche Anlage sind 16-kerzige Lampen zu liefern, welche bei 110 Volts die Stromstärke in einem Zweige auf $\frac{110}{56} \sim 0{,}5$ Amp. herabdrücken. Dazu mufs der Kohlefaden einen Widerstand $\frac{110}{0{,}5} = 220\ \Omega$ haben. Diesem hohen Widerstande entsprechend mufs, soweit die mechanischen Bedingungen das zulassen, der Kohlefaden möglichst dünn und lang hergestellt werden. Die Anforderungen in dieser Beziehung wurden noch bedeutend erhöht, als Betriebsspannungen von 220, 330 und 500 Volts eingeführt wurden. Will man in diesen Fällen nicht je zwei, drei oder sogar fünf Lampen hintereinander schalten und sich so des Vorteiles begeben, jede Lampe für sich ausschalten zu können, so müssen Glühlampen für 220, 330 und 500 Volts konstruiert werden. Für die Spannung von 220 Volts ist das auch gelungen. Die Stromstärke mufs in diesem Falle auf ca. 0,25 Amp. herabgemindert werden, was einem Widerstande von 888 Ω (rund 900 Ω) für den Kohlefaden entspricht.

Um diesen Forderungen nachzukommen, ist man von der anfangs einfach U-förmigen Form des Kohlefadens (Fig. 263a) zu der einer Schleife Fig. 263b), von dieser zu der von Doppelschleifen (die eventuell verankert sind), und endlich zu zwei hintereinander geschalteten Kohlefäden übergegangen (Fig. 263c). Bei den Lampen der letzten Art ist der

*) Manche auch nur 3,0 Watt, die Nernstlampe 1,5 Watt.

die beiden Fäden verbindende Metalldraht meistens in die Glasmasse des Sockels eingeschmolzen. S. u. H. bringen Lampen mit zwei Kohlefäden in den Handel, bei denen man durch Drehen eines Knopfes entweder beide Fäden oder nur einen zum Leuchten bringen und so entweder die volle oder die halbe Lichtstärke erzielen kann (Fig. 263d).

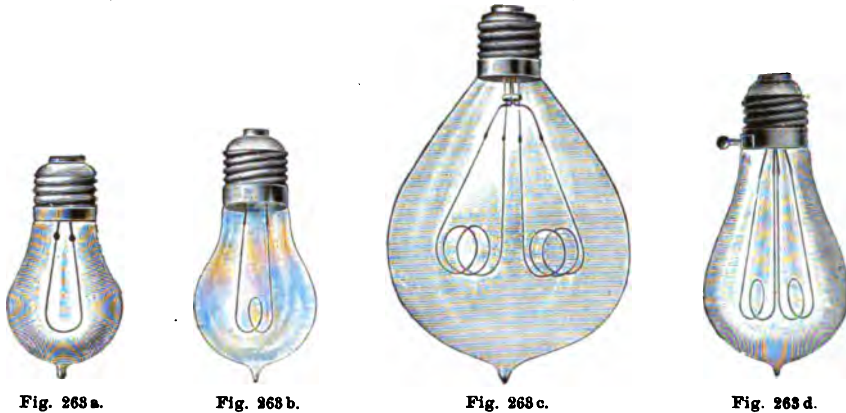


Fig. 263a. Fig. 263b. Fig. 263c. Fig. 263d.

Bei allen Glühlampen, die zur Zeit fabriziert werden, besteht der Faden jedoch nicht allein aus dem durch Verkohlung erhaltenen Cellulosefaden (der sogen. „Grundkohle"), sondern dieser wird noch nach besonderen Methoden mit einer Graphitschicht überzogen, wodurch der Glanz der Fäden an neuen Glühlampen bedingt wird. Der Zweck der Graphitschicht ist ein zweifacher: 1) Infolge der glänzenden Oberfläche wird viel weniger Wärme ausgestrahlt als bei rauher, rufsiger Beschaffenheit und daher auch weniger Energie gebraucht. 2) Sie (die

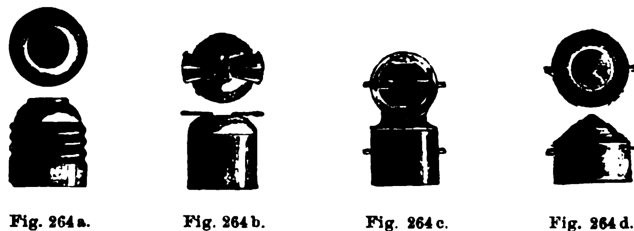


Fig. 264a. Fig. 264b. Fig. 264c. Fig. 264d.

Graphitschicht) schützt den Faden vor Beschädigung durch Erschütterungen, indem sie ihm eine gröfsere Festigkeit verleiht.

An die zugeschmolzene Lampe wird der „Kontakt" gekittet. Wir heben hier unter der grofsen Anzahl der ihnen von den einzelnen

Fabriken gegebenen Formen die von Edison, S. u. H., Swan (Bajonett) und Ganz u. Co. hervor (Fig. 264a—d). Von allen diesen bewährt sich der Edisonkontakt immer noch am besten, da er jeglichen rauhen Behandlungen gut widersteht. Die dazu gehörige Fassung mit und ohne Ausschalter zeigt Fig. 265a u. b.

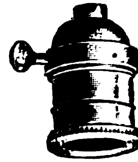


Fig. 265 a.

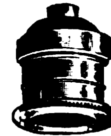


Fig. 265 b.

Für die Beleuchtung in der Grube versieht man die Glühlampen häufig noch mit eigentümlichen, sie gegen Feuchtigkeit bezw. Stoſs etc. schützenden Armaturen (Fig. 266a—d), Glasglocken, Reflektoren etc. (S. u. H.-Ch.)



Fig. 266 a.



Fig. 266 b.



Fig. 266 c.



Fig. 266 d.

Was die Schaltungsweise der Glühlampen anbetrifft, so schaltet man diese bei 110 Volts Betriebsspannung gewöhnlich einzeln parallel. Bei 2 × 110 Volts (Dreileitersystem) kann man zwischen den Nullleiter und jeder der anderen Leitungen dieselbe Schaltung, zwischen

den beiden äufseren eine solche zu zweien (Gruppenschaltung) anwenden. Bei Drehstrom müssen die Lampen zwischen die drei Leitungen gleichmäfsig verteilt werden, damit gleiche Belastung aller drei Phasen erreicht wird. Man sehe auch die in den Fig. 280—283 für die Bogenlampen gegebenen Schemata und denke sich dort die Bogenlampen durch die entsprechende Anzahl von Glühlampen ersetzt.

Das Prinzip der zweiten Art der elektrischen Beleuchtung, des **Bogenlichtes**, wird uns aus nachstehendem Versuch klar. Wir wickeln die Enden der von einer Gleichstrommaschine kommenden Drähte je um einen Retortenkohlenstab; die an den + Pol gelegte Kohle ist ca. 2,5 mal so dick als die an —. Aufserdem schalten wir parallel dazu unser Demonstrationsvoltmeter (Fig. 267a). Sind die Kohlen vollständig von einander entfernt, so zeigt das Voltmeter die an den Enden der Drähte herrschende Betriebsspannung an — sie ist in diesem Falle 90 Volts. Wir bringen jetzt die Kohlen mit einander in Berührung. Die Kohlenenden werden bis zur Rotglut erwärmt; eine grofse Lichtwirkung ist nicht bemerkbar. Wir entfernen die Enden jetzt vorsichtig von einander; es entsteht ein prachtvoller, dauernder Öffnungsfunke in Gestalt des blendend hellen elektrischen „Lichtbogens“ (Fig. 267b). Das Voltmeter zeigt eine Spannung von

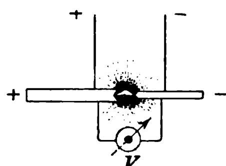


Fig. 267a.

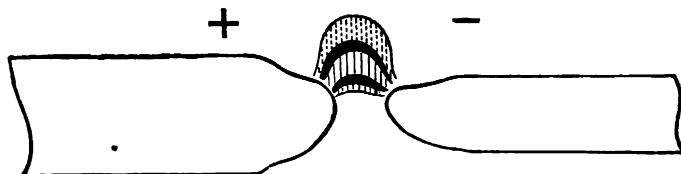


Fig. 267b.

40—45 Volts. Es findet also durch die Bildung des Lichtbogens ein Spannungsabfall von 45—50 Volts statt. Ob die Ursache dieser letzteren Erscheinung von einem „Übergangswiderstande“ zwischen + Kohle und Lichtbogen etc. oder von einer „gegenelektromotorischen Kraft des Lichtbogens“ herrührt, thut nichts zur Sache. **Uns interessiert nur die Thatsache des Spannungsabfalles.**

Wir hatten gesagt, der Lichtbogen sei „dauernd“. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn wir die Kohlen dem Grade des Abbrandes entsprechend wieder nähern, so dafs der Abstand der Kohlenenden, d. h. die Länge des Lichtbogens, stets nahezu derselbe bleibt.

Diese drei von uns nur ganz roh ausgeführten Handgriffe: 1) Nähern der Kohlen bis zur Berührung, um Stromschlufs herzustellen; 2) darauf

folgendes Entfernen und 3) dauernde Konstanthaltung der Entfernung der Kohlenenden werden bei den Bogenlampen der Praxis selbstthätig

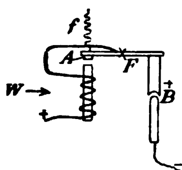


Fig. 268 a.

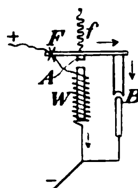


Fig. 268 b.

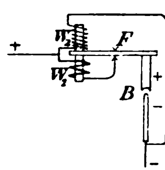


Fig. 268 c.

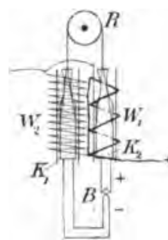


Fig. 268 d.

durch „Regelwerke“ ausgeübt, welche auf der Wechselwirkung von Elektromagnetismus und mechanischer Federkraft beruhen. Je nachdem die magnetisierende Spule des Elektromagneten mit dem Lichtbogen in Serie gelegt oder parallel geschaltet ist bezw. zwei Spulen (die eine in Serie, die andere im Nebenschlufs) vorhanden sind, unterscheidet man **Hauptschlufs-, Nebenschlufs-** und **Differentiallampen** (Fig. 268a—c)*).



Fig. 269.

Die **Hauptschlufslampe** hat für den praktischen Betrieb keine Bedeutung mehr, da sie sich ihrer Spulenanordnung nach nur für Einzelschaltung bezw. für Einzelparallelschaltung eignet. Da wir hier jedoch alle noch nötigen Experimente mit einer solchen Lampe (von Fein u. Max Kohl-Chemnitz Fig. 269) anstellen wollen, so sei über ihre Arbeitsweise Folgendes bemerkt.

Rücken die Kohlen infolge Abbrandes zu weit auseinander, so hat das ein Sinken der Stromstärke in der Spule und damit verbundenes Abnehmen der Anziehungskraft des Magneten zur Folge. Die Feder zieht jetzt den linken Hebelarm hoch und drückt damit den rechten bezw. die Kohle (+) mehr nach unten. **Beim Einschalten der Lampe müssen die Kohlen sich berühren.**

*) In den betreffenden Figuren ist immer: W (W_1 W_2) die Magnetisierungsspule, F der Drehpunkt des Hebels, f eine Feder, B der Lichtbogen, A ein Anker.

Die Regulierung der **Nebenschlufslampe** spielt sich folgendermafsen ab: Wird der Strom geschlossen, so fliefst dieser zunächst durch die im Nebenschlufs liegende Spule, der Anker A wird angezogen; dadurch kommt die + Kohle mit der — Kohle in Berührung. Der gröfsere Teil des Stromes fliefst jetzt über B, während die Zahl der Ampèrewindungen in W und damit die Anziehungskraft auf A abnimmt; die Feder f entfernt daher die + Kohle um eine bestimmte Strecke, so dafs der Lichtbogen gebildet wird. Sollte dieser zu grofs werden, so fliefst wieder mehr Strom durch W; der Anker wird wieder mehr angezogen, und die Kohlen werden genähert. Diese Spiele wiederholen sich in so kurzen Zwischenräumen, dafs die Lichtbogengröfse konstant bleibt. Die letztere hängt hauptsächlich von der Spannkraft der Feder ab; diese mufs daher für jede Lampe nach der Stromstärke etc. reguliert werden. — **Beim Einschalten der Nebenschlufslampe müssen die Kohlen von einander entfernt sein.**

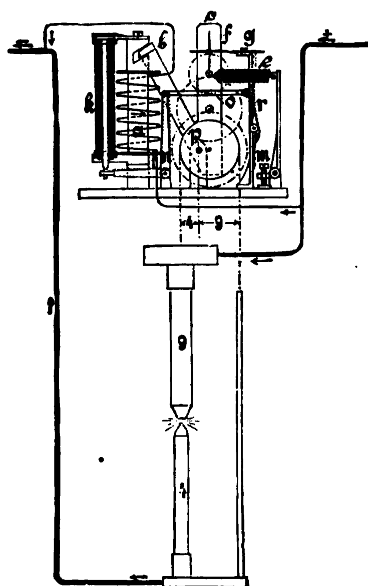


Fig. 270 a.

Bei der **Differentiallampe**, wie sie zuerst von **Hefner-Alteneck** angegeben wurde, trägt der Hebel einen zweiarmigen Eisenkern, der einerseits in der Hauptstromspule W_1, andererseits in der Nebenschlufsspule W_2 steckt. Bei Stromschlufs tritt zunächst W_2 in Thätigkeit, die Kohlen werden genähert; jetzt fliefst der Hauptstrom durch W_1, wodurch die Kohlen entfernt werden. Zu grofses Anwachsen des Lichtbogens bewirkt ein Wachsen des Stromes in W_2; der Hebel wird links nach oben gezogen und die Kohlen werden wieder in den richtigen Abstand gebracht.

Bei der **Differentiallampe von Schuckert** (Fig. 268a) sind die Spulen **nicht über** einander, sondern **neben** einander angeordnet, und es befindet sich in jeder ein nach oben spitz zulaufender Eisenkern. Beide Kerne sind durch ein Seil verbunden, das über eine Rolle R gelegt ist; jeder von ihnen trägt unten eine der Kohlen. Die Wirkungsweise ist im übrigen die ähnliche wie die der Fig. 268c. — **Beim Einschalten der Differentiallampe können die Kohlenstifte sowohl von einander entfernt sein als auch in Berührung stehen.**

Praktischen Wert haben, wie gesagt, nur noch die **Nebenschlufs-**

und die **Differentiallampen;** denn diese allein ermöglichen die weitgehende „Teilung des Lichtes“, welche man heutzutage verlangt.

Die technische Durchführung ist bei den Firmen verschieden. Wir führen hier folgende, häufig verwendete Lampenkonstruktionen auf.

1. **Nebenschlufslampe Modell F von Körting u. Mathiesen** (Leutzsch-Leipzig) (Schaltungsschema: Fig. 270a, Lampe: Fig. 270b).

Die Teile dieser Lampe sind: *a* der Schwebemagnet (dessen Wickelung im Nebenschlufs liegt); *c* das um die Achse *p* schwingende Laufwerk; *d* eine Rolle des letzteren mit darüber laufender Kette, welche beide beweglichen Kohlenhalter trägt; *b* der Anker, der in fester Verbindung mit dem Laufwerk steht und dessen Schwingungen durch den Luftdämpfer *i* gemäfsigt werden; *f* ein Flügelrad nebst Anschlagszunge *g*; *e* die an dem Hebel *h* befestigte Feder *e*, deren Spannung vermittelst der Stellschraube *m* der Lichtbogenspannung entsprechend reguliert wird; *k* ein Wärmekompensator, bestehend aus in einander gesteckten Rohren aus Zink- und Eisenblech; diese Rohre sind so mit einander verbunden, dafs die Unterschiede ihrer beiderseitigen Ausdehnungen sich summieren; das äufsere Rohr sitzt fest an dem Magnetsockel, das innerste wirkt auf den die Anschlagszunge *g* tragenden einarmigen Hebel *r* vermittelst des Winkelhebels *n* ein.

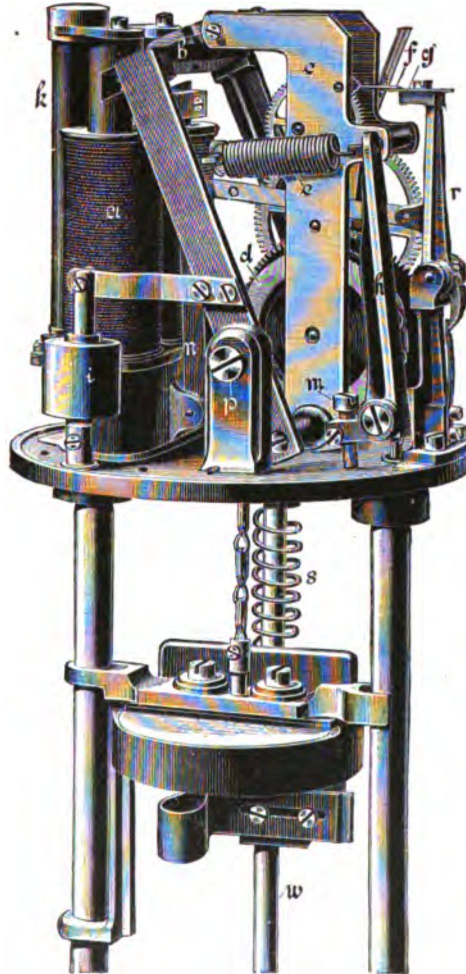


Fig. 270b.

Die Lampe funktioniert nun folgendermafsen: Beim Einschalten wird der Anker *b* angezogen. An dieser Bewegung nimmt auch das Laufwerk und mit diesem die Rolle *d* teil; dadurch werden die Kohlenstifte genähert. Eventuell tritt noch das freigegebene Laufwerk durch

das Übergewicht des oberen Kohlenhalters in Thätigkeit und nähert die Kohlenstifte vollends. Da jetzt der Magnet infolge Stromlosigkeit der Spulen *a* seine Kraft verloren hat, so zieht die Feder *e* den Anker *b* zurück und bildet so den Lichtbogen. Bei der höchsten Spannung des Lichtbogens stellt sich der Anker *b* so ein, dafs das Flügelrad *f* von *g* frei wird; das Laufwerk bewirkt dann eine langsame Annäherung der Kohlenstifte. — Durch die vom Lichtbogen aufsteigende Hitze erhöht sich der Widerstand der Drahtspule und ruft dadurch eine Abnahme des Magnetismus hervor, was ein geringes Loslassen des Ankers zur Folge hat. Diesem Übelstande wird durch den Wärmekompensator *k* begegnet, welcher vermittelst der angedeuteten Hebelübersetzung die Anschlagszunge *g* „um so viel zurückdrängt, als der Magnetanker und damit das Flügelrad durch die verminderte Kraft des Magneten zurückgetreten sind“.

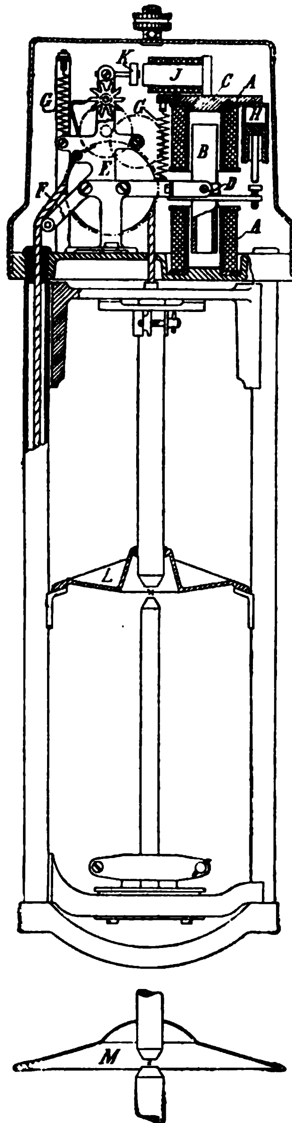


Fig. 271 a.

2) **Differential-Seillampe von S. u. H.** (Fig. 271a u. 271b).

Die Lampe führt den Namen „Seillampe“ nach einem aus 1000 Kupferdrähten bestehenden Seil *F* (Fig. 271a), welches über das Hauptrad des Laufwerkes *E* gelegt ist und an seinen Enden die beiden Kohlenhalter trägt. Die Bethätigung des Laufwerks erfolgt durch das Übergewicht des oberen Kohlenhalters. Der H-förmige Differentialelektromagnet *B* wird beim Einschalten der Lampe in das untere Nebenschlufsspulenpaar gezogen, wodurch die Kohlen genähert werden. Nach deren Berührung wird er in das obere Hauptstromspulenpaar gezogen; die Kohlen werden entfernt. Von den sonstigen Details sei nur noch der Sparer *L*, ein hohlkegelförmiger emaillierter Eisenkörper, erwähnt. Er ist dicht über dem Lichtbogen angebracht. Die Kohlen brennen auf diese Weise in sauerstoffarmer Luft; dadurch soll eine Kohlenersparnis von ca. 40% erzielt werden. (Man sehe hierüber auch die Janduslampe etc.)

3) **Differentialbogenlampe der Elektrizitätsgesellschaft Hansen-Leipzig** (Fig. 272).

Ebenso wie die vorige besitzt diese Lampe **zwei** Spulenpaare *a* und *b*, nur hier in horizontaler Lage. Zwischen den Polschuhen der Elektromagnete befindet sich der Anker *f*. Dieser wird bei Stromschlufs von dem Nebenschlufs-Elektromagneten *a* angezogen und veranlafst eine Schwingung des Laufwerks *e*; das Pendel *k* wird von seiner Arretierung *l* frei und das Laufwerk setzt sich infolge des Übergewichtes des oberen Kohlenhalters in Bewegung bis zur Berührung der Kohlenstifte. Der Nebenschlufsmagnet ist jetzt wirkungslos geworden; daher schnellt das Laufwerk zurück, und die untere Kohle sinkt, wodurch der Lichtbogen gebildet wird. Die weiteren Vorgänge sind wohl aus 2) und 3) klar.

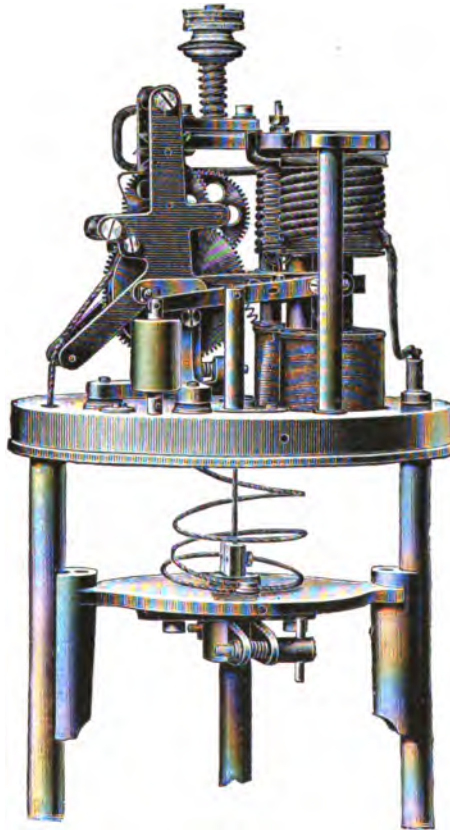


Fig. 271 b.

4) **Differentiallampe von Körting u. Mathiesen, Leutzsch-Leipzig** (Fig. 273a u. b).

Es ist in Fig. 273b: *a* ein Doppelsolenoïd, das (unten) aus einer Hauptschlufs- und einer (oben) Nebenschlufsspule besteht; *c* ein in diesen Spulen an dem dreiarmigen Hebel *d* hängender Eisenkern, *b* das um die auf Rollen gelagerte Achse *f* schwingende Laufwerk; *l* ein Luftdämpfer, auf den Regulierscheiben *m* gelegt werden können. — Die Wirkungsweise bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

5) **Differential-Gleichstrombogenlampe von Křižik-Schuckert-Nürnberg** (Fig. 274).

Auch diese schematisch bereits in Fig. 267d wiedergegebene Lampe ist in ihrer Wirkungsweise leicht verständlich. Es ist: S_1 die Hauptstromspule (wenig Windungen), S_2 die Nebenschlufsspule (viele Windungen); N eine Schnurrolle mit Schnur J; H_1 und H_2 die an dieser

befestigten Kohlenhalter mit den Kohlenstiften K_1 (+) und K_2 (—). Die Hauptstromspule S_1 bewirkt ein Auseinandergehen, die Nebenschlufsspule S_2 dagegen ein Zusammengehen der Kohlenspitzen. Um die Anziehungskräfte zwischen Kern und Spule von ihrer gegenseitigen Lage unabhängig zu machen, hat man den (weichen) Eisenkernen die eigentümliche konische Form gegeben. (Dasselbe ist bei den Kernen der Instrumente der Fig. 13 u. 14 der Fall).

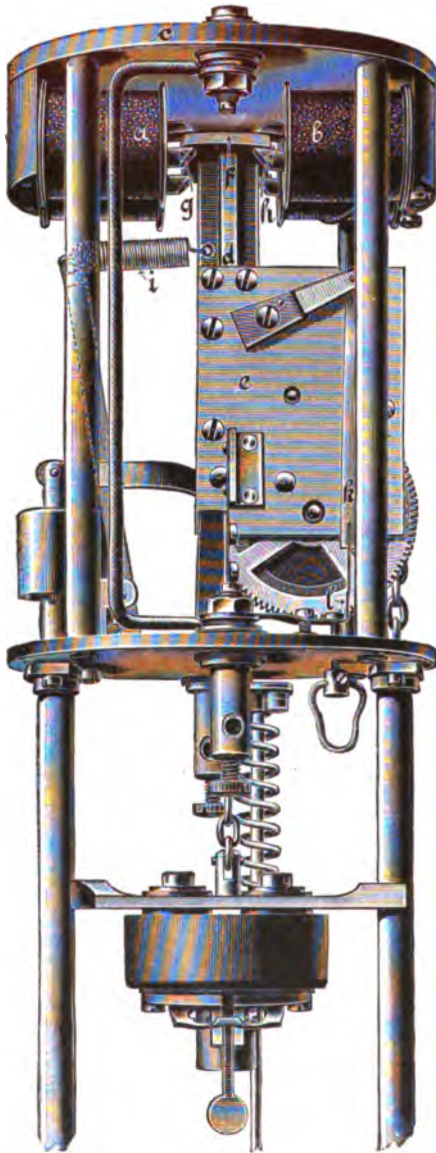


Fig. 272.

Weitere Lampenkonstruktionen sind: die A. E. G. Fixpunktdifferentiallampe (Fig. 274a), die Siemens'sche Bandlampe etc. (Fig. 274b).

Betrachten wir den **offenen Lichtbogen** etwas näher (Fig. 275), so können wir drei Zonen: den violetten Kern *a*, das schwarze Band *b* und den gelbgrünen Mantel *c* unterscheiden (Fig. 275). Ferner fällt uns auf, dafs der positive Kohlenstift bei Gleichstromlampen stets von gröfserem Querschnitt genommen wird als der negative. Der Grund für diese Mafsnahme ist der, dafs die positive Kohle ca. $2\frac{1}{2}$ mal so schnell abbrennt als die negative. Eine weitere Eigentümlichkeit des Gleichstrombogenlichtes ist die Kraterbildung an der positiven und der spitze Kegel an der negativen Kohle. Da von dem Krater die gröfste Lichtmenge nach unten ausgestrahlt wird, so mufs für eine möglichst gleichförmige Bildung desselben gesorgt werden. Dies wird dadurch erreicht, dafs man die positive Kohle nicht „homogen" (wie die negative) herstellt, sondern im Innern mit einem Kern von geringerer Festig-

keit (einem „Dochte") versieht (**Dochtkohle**). Bei Anwendung von Wechselstrom fallen diese im vorstehenden geschilderten Erscheinungen natürlich fort. Beide Kohlenstifte werden gleich stark und homogen genommen.

Den Abbrand der Kohlen kann man dadurch verlangsamen, dafs man den Lichtbogen durch eine besondere kleine Glocke von der Luft abschliefst (wie dies teilweise ja auch bei der „Seillampe", Fig. 271a, gemacht wird) und auf solche Weise jenen in einem sauerstoffarmen Gasgemisch, in dem die Verbrennung der Kohle nahezu aufhört, sich bilden läfst. Die Brenndauer eines solchen Kohlenpaares wird dadurch auf 100 bis 200 Stunden gesteigert; gleichzeitig steigt aber auch der Energieverbrauch; denn der Spannungsabfall beträgt bei dieser „Dauerlampe" 80 Volts; sie kann bei 110 Volts „einzeln" parallel geschaltet werden. Lampen dieser Art werden von der Kontinentalen Jandus-Elektrizitäts A.-G. Brüssel (Vertreter für Deutschland: von Mülman, Rheydt) und neuerdings auch von Körting und Mathiesen in den Handel gebracht. Ein Erzeugnis der letzteren Firma ist die in Fig. 276 abgebildete Lampe (*a* Glasglocke; *d* ein Deckel, der jene soweit abdichtet, dafs kein Luftwechsel stattfinden kann). Auch die Un.-B. liefert solche Lampen.

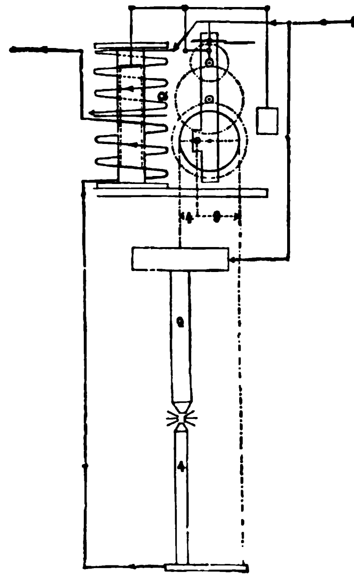


Fig. 273 a.

Ein längeres Brennen der Lampe kann auch durch Verwendung der „Ersatzkohlenlampe Modell CR" von Körting u. Mathiesen erreicht werden. Diese Lampe trägt **zwei** Kohlenpaare, von denen eins zur Zeit brennt. Ist dieses abgebrannt, so wird es selbstthätig aus- und dafür das andere eingeschaltet.

Da der Spannungsabfall bei den gewöhnlichen Lampen 40—50 Volts beträgt, so mufs man bei einer Netzspannung von 110 Volts je zwei Lampen in Serie und dann diese erst paarweise parallel schalten (Fig. 277)*). Aufserdem ist für das ruhige Brennen der Lampen ein „Beruhigungswiderstand" *W* erforderlich, der die überschüssige Spannung vernichtet. „Janduslampen" können allerdings nach Fig. 278 einzeln parallel ge-

*) In den Fig. 276—283 bedeutet immer: *D* die Dynamomaschine; *W* den „Beruhigungswiderstand", meistens eine auf ein Porzellanrohr aufgewickelte Drahtspule; *A* den Ausschalter. (Schaltungsschemata v. Körting u. Mathiesen.)

schaltet werden. Beide Methoden sind jedoch mit Energieverlusten verknüpft, was den Wirkungsgrad der Lampenanlage verschlechtert. Es werden daher neuerdings „Triplex-Lampen“ fabriziert, bei denen der Spannungsabfall so weit herabgedrückt wird, daſs je **drei** Lampen

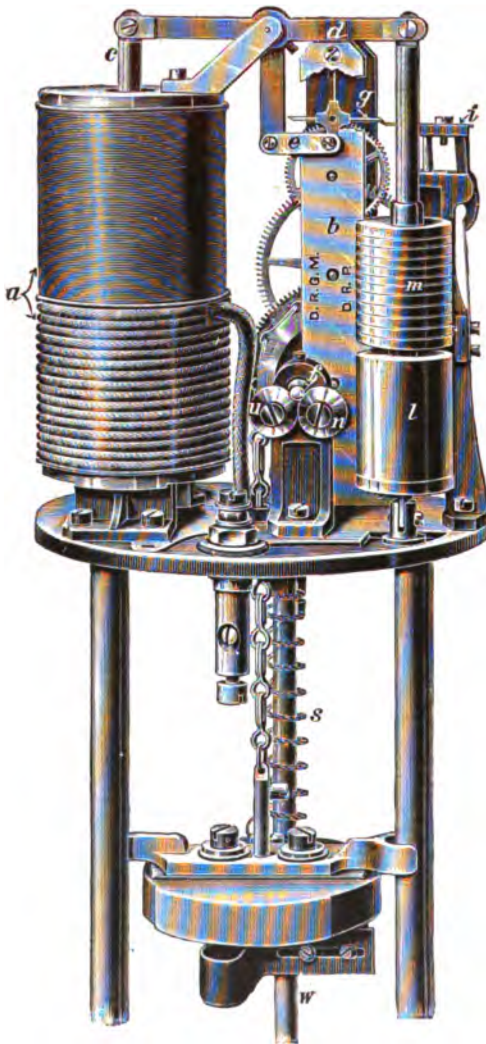


Fig. 273 b.

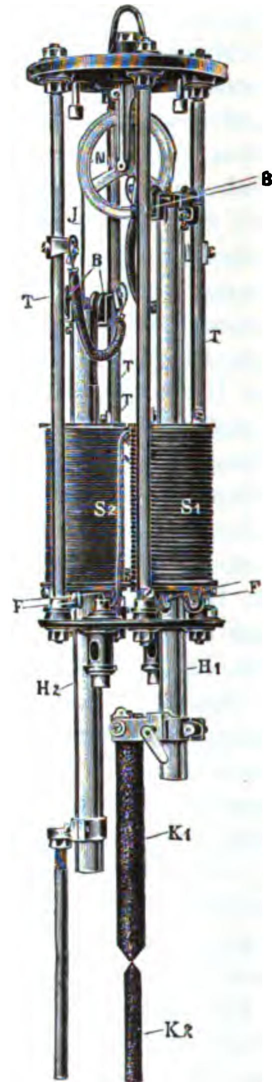


Fig. 274.

ohne dauernd eingeschalteten Widerstand **in Serie** brennen können. Der Widerstand W wird nur zu Anfang eingeschaltet und, wenn die Lampen ruhig brennen, kurz geschlossen (Fig. 279). Die Energieersparnis beträgt ca. 30% (Körting u. Mathiesen; S. u. H.).

Die eventuelle Verteilung der Lampem beim „Dreileitersystem“ führt uns Fig. 280 vor Augen. Zwischen den beiden äufseren Drähten können vier gewöhnliche Lampen (oder sechs Triplexlampen) in Serie liegen.

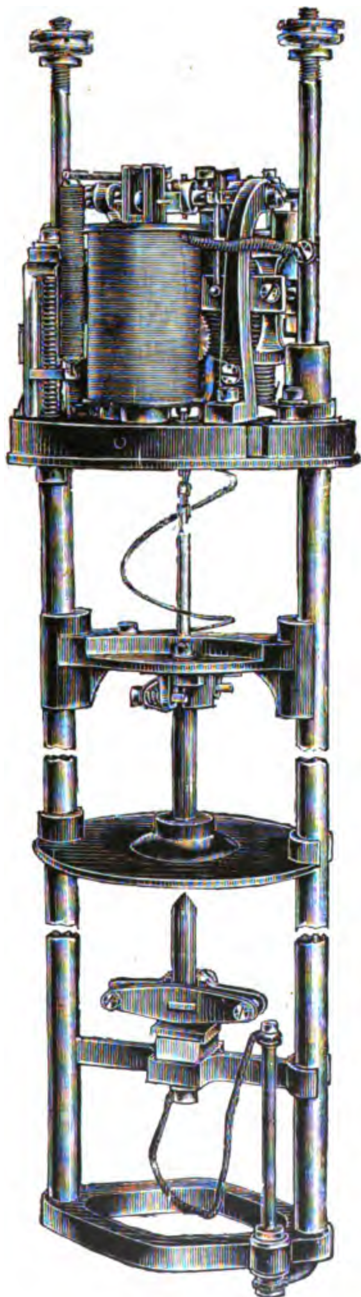


Fig. 274 a.

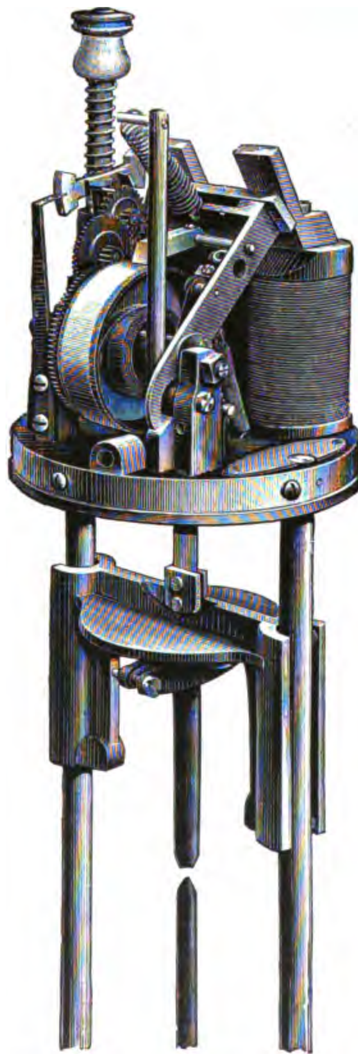


Fig. 274 b.

Die Fig. 281—283 geben Schaltungsschemata für mehrphasigen Wechselstrom wieder: Fig. 281 ist eine von zweiphasigem Wechsel-

strom gespeiste Beleuchtungsanlage. Fig. 282 u. 283 zeigen Schaltungen für Drehstromanlagen und zwar Fig. 282 für Dreiecks- und Fig. 283 für Sternschaltung.

Der **Wirkungsgrad** einer Bogenlampe hängt von der **Beschaffenheit** der **Kohlenstifte** (die Marken „A“ von Gebr. Siemens-Charlottenburg und „Noris“ von Conradty sind die besten) und deren **Stärke**, sowie von **der Stromstärke** ab. Folgende Tabelle, deren Daten wir dem Werke: „Der elektrische Lichtbogen“ von Voigt entnehmen, giebt darüber einige Auskunft.

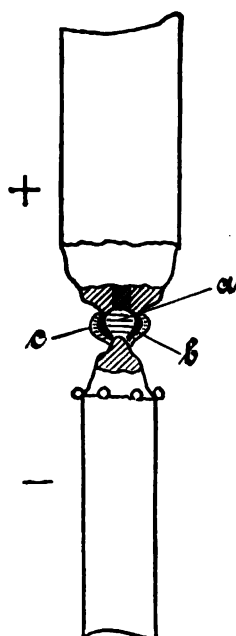


Fig. 275.

Kohlendurchmesser: Dochtkohle mm	Kohlendurchmesser: Homogenkohle mm	Bogenlänge mm	Spannung Volts	Brennstärke Amp.	Wattverbrauch Watt	Lichtstärke*) HK	Wattverbrauch pro HK
13,1	7,0	1,1	32	**3,9**	126	**350**	**0,360**
—	—	3,0	39	**5,0**	194	**520**	**0,373**
14,2	10,0	2,7	43	**6,0**	257	**680**	**0,378**
—	—	2,4	46	**7,1**	325	**1000**	**0,325**
16,0	11,2	2,0	37	**8,0**	298	**920**	**0,324**
10,0	10,0	2,4	43	**7,0**	300	**1040**	**0,288**
17,0	12,0	2,7	44	**9,0**	392	**1380**	**0,284**
24,3	16,1	5,5	48	**18,1**	863	**3470**	**0,249**
—	—	7,0	48,5	**20,0**	968	**4420**	**0,219**

Mit wachsender Stromstärke nimmt also die Lichtstärke zu und der Wattverbrauch pro Lichteinheit ab. Während beim Glühlicht pro Lichteinheit durchschnittlich 3,5 Watt verbraucht werden, ist der Bedarf beim Bogenlicht zur Erzeugung derselben Lichtmenge nur 0,4 bis 0,5 Watt, ein Umstand, der sehr zu gunsten des Bogenlichtes spricht. Da man jetzt Lampen für 1 Amp. Stromstärke herstellt (ca. 120 Kerzen), so kann man auch nicht allzu kleine Räume sehr wirtschaftlich mit Bogenlicht beleuchten**). Man wird von diesem Vorteile bei der Beleuchtung von Pfeilern in schlagwetterfreien Gruben guten Gebrauch machen können (Königin-Luisengrube O. S. Ostfeld); ebenso geeignet ist es für Füllörter, unterirdische Maschinenräume. Für die Beleuchtung der Förderstrecken kommt Glühlampenbeleuchtung in Betracht**). In

*) Die Lichtstärke wird durch Hefner-Einheit (Amylacetatlampe von 50 mm Flammenhöhe) gemessen. 1 HK. = 0,85 deutsche Normalkerzen (sechs auf ein Pfund).

) Einen Fortschritt auf dem Gebiete der Kleinbeleuchtung bedeutet die „Nernstlampe**“ (s. S. 16). Sie verbraucht nur ca. 1,5 Watt pro Hefnerkerze (NK). Es werden zur Zeit Lampen zu 100 W (65 NK) und 200 W (105 NK) für 110 bezw.

welchen Abständen diese Lampen anzubringen sind, wird von den jeweiligen Verhältnissen abhängen. In Kohlengruben wird man das große Lichtabsorptionsvermögen der Kohle durch Weißen von Firste und Seitenstößen der betr. Strecken zu beseitigen suchen, wie dies ja auch schon in Schlagwettergruben zwecks besserer Beleuchtungswirkung der Sicherheitslampen gemacht wird.

Einer Einrichtung der Bogenlampen müssen wir noch gedenken, nämlich der „**Überfangglocken**". Wir lassen unsere Fein'sche Lampe (Fig. 269) zuerst offen brennen: das von der Bogenlampe ausgestrahlte Licht wird offenbar sehr ungleichmäßig über den ganzen Raum verteilt. Die Art und Weise der Lichtverteilung wird uns aus Fig. 284 klar, (Polarkoordinaten; Schnittfigur!) Die dort angegebene Kurve läßt erkennen, daß unter 40° das meiste Licht ausgestrahlt wird (ca. 2300 HK). — Bei den Wechselstrombogenlampen ist die Lichtverteilung naturgemäß eine andere (Fig. 285). Nach oben und unten wird ungefähr gleichviel Licht ausgesandt werden. — Wir setzen jetzt über die Lampe eine größere Milchglasglocke. Der Augenschein zeigt deutlich, daß jetzt nach allen Seiten nahezu gleichviel Licht ausgestrahlt wird. Es ist eben so, als wenn jetzt die Glasglocke das Licht aussendete. — — —



Fig. 276.

Zu den Glühlampen bemerken wir noch, daß sie auch als eine Art „Sicherheitslampen" in Verbindung mit Akkumulatoren oder kräftigen Trockenelementen Eingang in den Bergwerksbetrieb gefunden haben. Fig. 286 zeigt eine von Friemann u. Wolf-Zwickau i. S. verfertigte „**Elektrische Grubenlampe**". Im Innern eines verbleiten und lackierten Eisengehäuses sind drei Trockenelemente untergebracht, die mit einer Kapazität von sechs Ampèrestunden eine $2^1/_2$ Volt-Glühlampe speisen. Auch andere Firmen (z. B. S. u. H.) liefern solche Lampen. Ihrer häufigeren Verwendung steht leider noch das ziemlich große Gewicht entgegen. (Die Wolf'sche Lampe wiegt z. B. schon 3,175 kg.)

220 V von der A. E. G. geliefert. Preis pro Lampe 12,50 und 14,50 Mark. — Auch die „Osmiumlampe" Auers soll sparsamer brennen. — Beide Lampen gehören ja zur Gattung der Glühlampen.

Das verhältnismäfsig grofse Gewicht der „Elektrischen Grubensicherheitslampen“ (die Wolf'schen Benzinsicherheitslampen wiegen beispielsweise ohne Schutzmantel nur ca. 1,2 kg, mit Schutzmantel 1,34 kg)

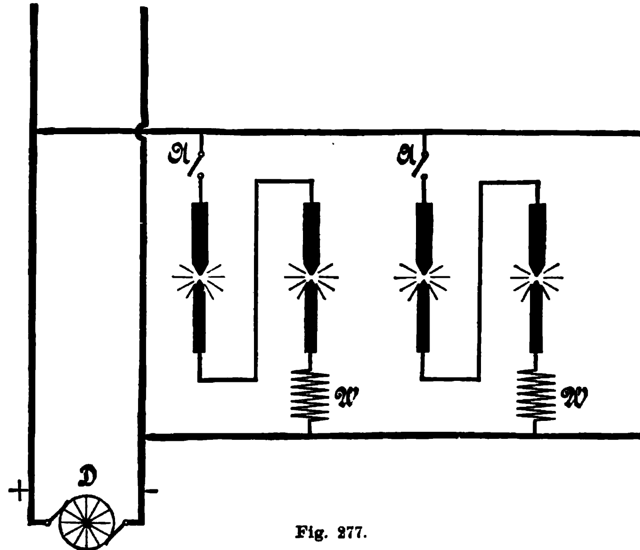


Fig. 277.

soll von den Grubenarbeitern doch nicht allzu unangenehm empfunden werden. Die neueren Lampen, z. B. die Bristollampe und die Lampe der Berliner Akkumulatoren- und Elektrizitätsgesellschaft (Fig. 286a)

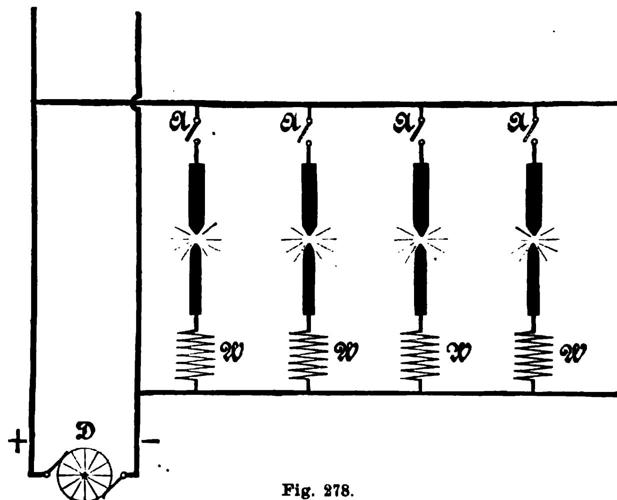


Fig. 278.

wiegen sogar nur noch 2,3 bezw. 2,5 kg. Man mufs nämlich in Betracht ziehen, dafs die elektrische Grubensicherheitslampe bei richtiger Handhabung gröfsere Sicherheit bietet als die Davylampe und ihre

Nachbildungen. Sollen doch allein im Oberbergamtsbezirke Dortmund im Jahre 1896 von 42 aufgeführten Explosionen 29 durch „Sicherheitslampen“ verursacht worden sein. — Es hat sich in letzter Zeit in Westfalen ein Konsortium gebildet, das die Fabrikation und den Vertrieb einer neuen Konstruktionstype einer Elektrischen Sicherheitslampe in die Hand nehmen wird.

Als Bedingungen, denen eine elektrische Grubenlampe zu genügen hat, werden von Fachmännern („Glückauf“ 1897) die folgenden aufgestellt:

1. Die Lampe soll bei einer Brenndauer von wenigstens zehn Stunden eine Helligkeit von ca. drei Normalkerzen besitzen.

2. Vorspringende Teile müssen vermieden werden, so dafs auch verhältnismäfsig rohe Behandlung die Lampe nicht gefährdet. Sie mufs möglichst vollständig gegen mechanische Einwirkungen geschützt werden, damit die Gefahr einer Zertrümmerung durch unvorsichtiges Handhaben ausgeschlossen ist.

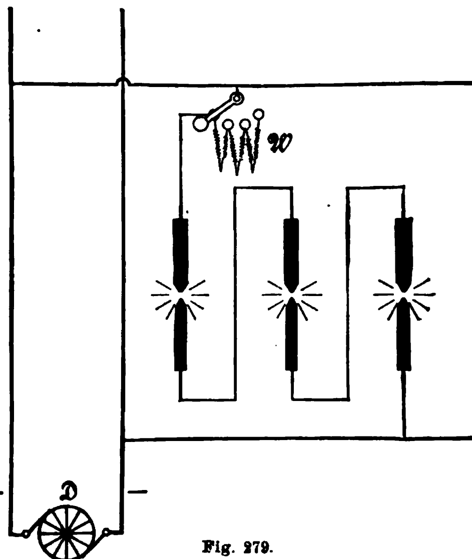


Fig. 279.

3. Der Ausschalter der Lampe mufs so angebracht sein, dafs keine Öffnungsfunken, die Explosionsgefahr mit sich bringen, entstehen können.

4. Das Laden vieler Lampen mufs schnell ausgeführt werden können, und es müssen die hierfür getroffenen Einrichtungen derart sein, dafs sie auch von wenig geschultem Personal mit Leichtigkeit bedient werden können.

Diese letztere Forderung sucht die Berliner Akkumulatoren- und Elektrizitätsgesellschaft durch Konstruktion sogen. „Ladebühnen“ zu erfüllen, die ein gleichzeitiges bequemes Laden von 20 Lampen gestatten (Fig. 286b). Die Schaltungsanordnung ist der Fig. 286d entsprechend getroffen.

Die elektrischen Grubensicherheitslampen kosten pro Stück ca. 30 Mark, während der Preis der gewöhnlichen Wolf'schen nur 18—20 Mark beträgt. Jedoch sollen die Betriebskosten bei ersteren geringer als bei letzteren sein; das müsste aber wohl erst durch jahrelange Versuche im Grofsen festgestellt werden.

Bei dieser passenden Gelegenheit wollen wir das Notwendigste über die Akkumulatoren sagen (Fig. 286c Akkumulatortypen von W. A. Boese-Berlin).

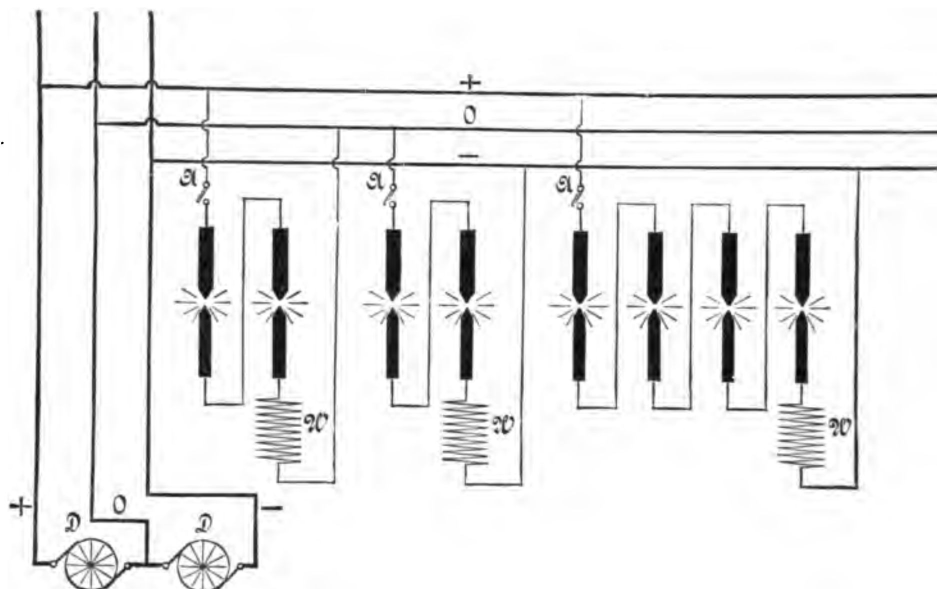


Fig. 280.

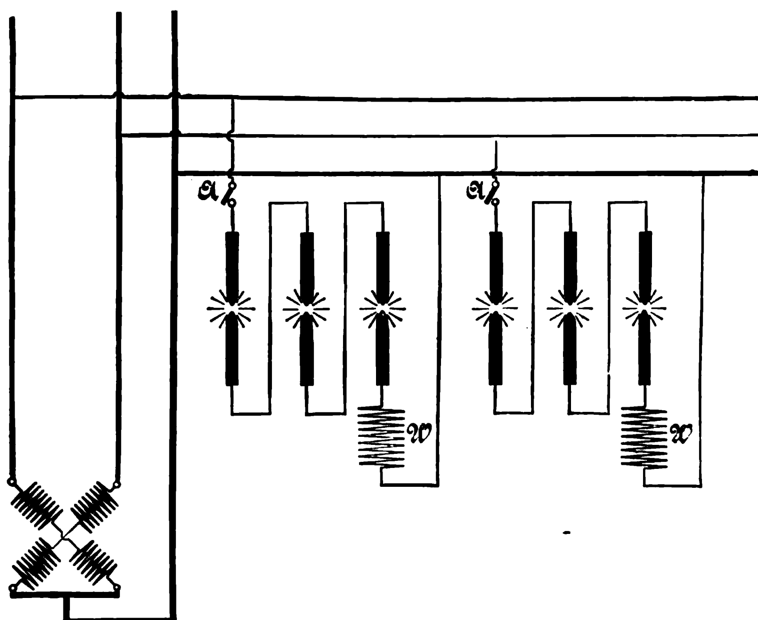


Fig. 281.

Ein Akkumulator ist eine Vorrichtung, bei der elektrische Energie in chemische (Ladeperiode) und chemische Energie in elektrische (Ent-

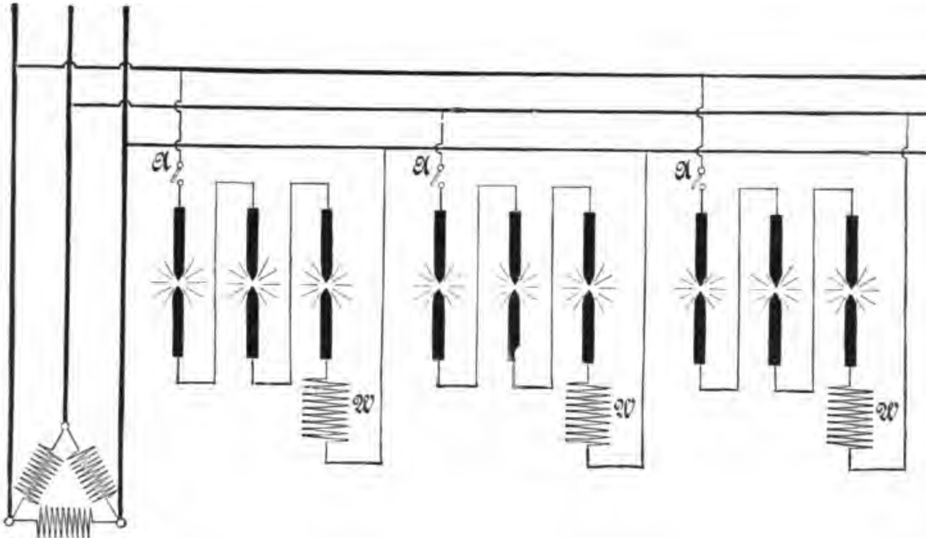


Fig. 282.

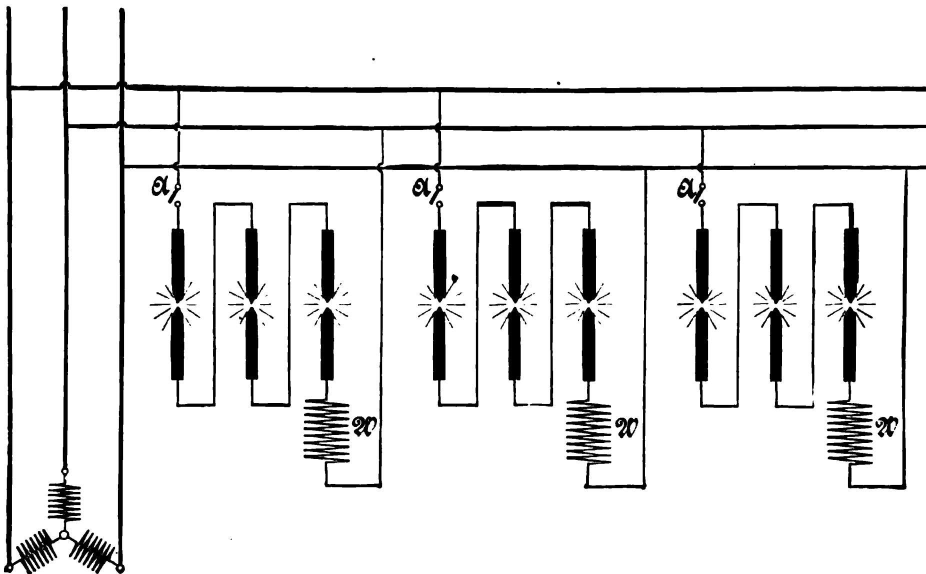


Fig. 283.

ladeperiode) umgesetzt wird. Er ist ein Element, das aus den Platten Blei (Bleischwamm, weifsgrau, — Pol) und Bleisuperoxyd (braun, + Pol) und Schwefelsäure besteht. Je nachdem die „aktive Masse“

in Bleigittern, in Riefen oder (Blei-) Rahmen untergebracht ist, unterscheidet man: „Gitterakkumulatoren", „Tudorakkumulatoren" (Akkumulatorenwerke in Hagen u. a.) und „Akkumulatoren mit Masseplatten" (W. A. Boese-Berlin). Die Normalspannung 2,0 Volts ist, wie bei allen Elementen, unabhängig von der Akkumulatorengröfse. Diese hat nur Einflufs auf den inneren Widerstand (0,05 bis 0,1 Ω) und die Kapazität oder Ladungsfähigkeit. Letztere wird in „Ampèrestunden" angegeben. Hat ein Akkumulator eine Kapazität von 7,5 Ampèrestunden, so heifst das: Es kann dem Akkumulator 10 Stunden lang ein Strom von 0,75 Amp., 15 Stunden lang ein solcher von 0,5 Amp. entnommen werden. Soll die Zelle umgekehrt geladen werden, so müfste man in sie beispielsweise mindestens fünf Stunden einen Strom von 1,5 Amp. leiten, in Wirklichkeit aber noch etwas länger, da der Wirkungsgrad der Akkumulatoren 90% ist.

Fig. 284.

Die Akkumulatoren werden mit **chemisch reiner** (wichtig!) Schwefelsäure vom spezifischen Gewichte 1,15 (ca. 18° Baumé) derart gefüllt, dafs die Platten ein bis zwei Centimeter bedeckt sind. Die Platten werden durch Glasstäbe oder Glasrinnen in ganz bestimmtem Abstande von einander erhalten und gehen meist nicht ganz bis auf den Boden des Gefäfses (4—5 cm Abstand). Die Zahl und Gröfse der zu einer „Zelle" (2 Volts) vereinigten Platten richtet sich nach der zu erzielenden Kapazität. **Stets aber ist die Zahl der negativen Platten (grau) um 1 gröfser als die der positiven.** Alle negativen und ebenso alle positiven Platten werden durch Bleistreifen (braun) zu je einem Pole (— und +) vereinigt. Man baut meistens mehrere solcher Zellen (bei Grubenlampen 2—3) zusammen in einen Kasten ein und schliefst sie

Fig. 285.

oben durch Glasplatten bezw. Pechschichten, welche nur je eine Öffnung zum Einfüllen der Säure und zum Entweichen der Gase frei lassen.

Soll der Akkumulator geladen werden, so sind zunächst mit Hilfe der im 3. Vortrag angegebenen Mittel die Pole der elektrischen Leitung (etwa der Grubenbeleuchtungsanlage) zu bestimmen und darauf mit den entsprechenden Polen der Zellen, welche nach Bedarf hinter einander oder parallel geschaltet werden, zu verbinden. Dabei ist immer die „**Ladestromstärke**“ zu kontrollieren. **Diese beträgt in der Regel (in Amp.) $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{5}$ der Kapazität im Ampèrestunden.** Bei der Ladung spielt sich nun folgender Vorgang ab: Die verdünnte Schwefelsäure (H_2SO_4) wird in Wasserstoff (H_2) und (SO_4 bezw. SO_3) zersetzt. Der letztere Teil scheidet sich an der positiven Platte ab, und es wird hier (von der letzten Entladung her) vorhandenes schwefelsaures Blei ($PbSO_4$) in **PbO_2 (Bleisuperoxyd)**, das sich an der positiven Platte abscheidet, und **Schwefelsäure** (H_2SO_4) verwandelt. Der Wasserstoff (H_2) wandert als Träger (Jon) der positiven Elektrizität an die negative Platte und reduziert dort auch das (ebenfalls von der letzten Entladung vorhandene) $PbSO_4$ zu Blei (Pb), das

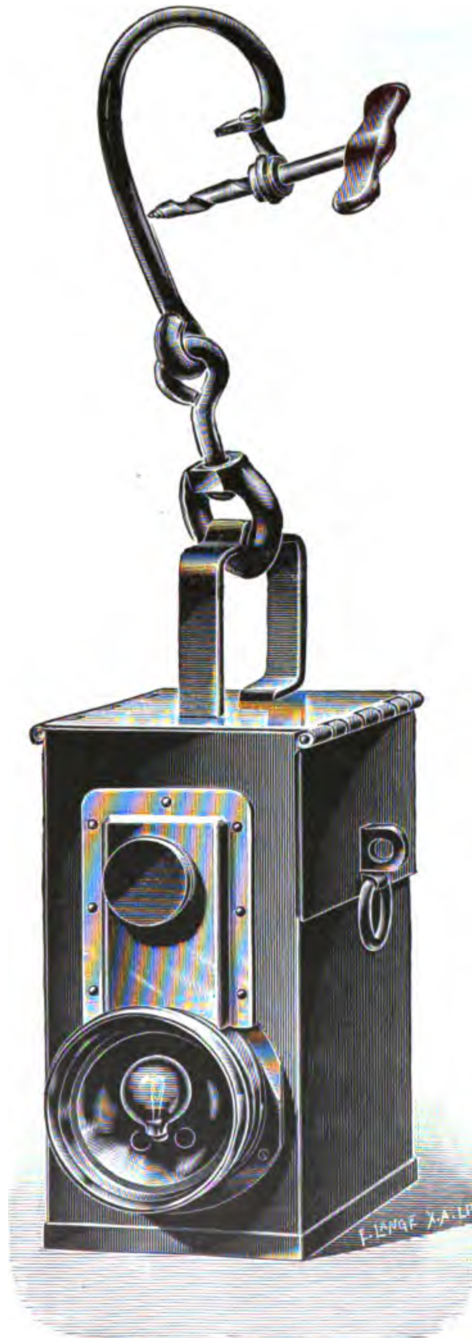


Fig. 286.

in schwammiger Form abgeschieden wird, und H_2SO_4. **Bei der Ladung nimmt also die Konzentration der Akkumulatorflüssigkeit zu.** Dies kann durch das Aräometer konstatiert werden. Gleichzeitig wächst auch die Spannung pro Zelle von 1,8 (bezw. 1,85) Volts auf 2,0 Volts und am Ende der Ladung sogar auf 2,4—2,5 Volts. Ist die Ladung beendigt und wird doch mit dem Einleiten von Strom fortgefahren, so finden die beschriebenen chemischen Prozesse nicht mehr statt: Es wird nur noch die verdünnte Schwefelsäure (s. 3. Vortrag) elektrolysiert; am negativen Pol scheidet sich also H_2 und am positiven Sauerstoff ab, was sich durch lebhaftes Aufsteigen von Gasblasen kund thut. Das aus der Flüssigkeit aufsteigende Gasgemenge ist **Knallgas**; daher ist Vorsicht beim Betreten von Akkumulatorenräumen während der Ladezeit (nicht mit **offenem** Licht!) geboten. Kann die Spannung 2,4 Volts und das damit zusammenfallende Ende der Ladung aus Mangel an einem geeigneten Voltmeter nicht festgestellt werden, so hält man sich an dieses „Kochen" des Akkumulators, um mit dem Laden rechtzeitig aufzuhören.

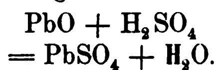


Fig. 286a.

Die Spannung 2,4 Volts pro Zelle rührt davon her, dafs die Platten mit Sauerstoff (+) und Wasserstoff (—) beladen sind. Diese Gase sind jedoch bald nach Beginn der „**Entladung**" verbraucht. Daher sinkt auch die Spannung fast unmittelbar von 2,4 auf **2,0 Volts**, um von da an längere Zeit konstant zu bleiben. Für die Bemessung der Gröfse der „**Entladestromstärke**" ist zu beachten, dafs sie immer $\frac{1}{8}$ **bis** $\frac{1}{4}$ **der Kapazität in Ampèrestunden** betragen mufs. Ist die Kapazität einer Grubenlampe z. B. 7,5 Ampèrestunden, so ist die „zulässige" Entladestromstärke 0,9 bis 1,9 Amp.

Bei der Entladung spielt sich nachstehender chemischer Vorgang ab: An der negativen Platte greift die verdünnte Schwefelsäure den Bleischwamm an unter Bildung von $PbSO_4$ und H_2. Letzterer wandert als Träger positiver Elektrizität an die positive Platte und wird dort durch den Sauerstoff des PbO_2 zu **Wasser** oxydiert. Das durch Reduktion des PbO_2 (Bleisuperoxyd) entstandene

PbO (Bleioxyd) bildet mit der Schwefelsäure (genau wie an der negativen Platte) schwefelsaures Blei unter nochmaliger Abscheidung von Wasser nach der Gleichung:



$$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$$

Am **Ende der Entladung** ist also zweierlei zu konstatieren:

1) Da sich Wasser abgeschieden hat, so ist die **Konzentration der Flüssigkeit gesunken**, umgekehrt wie bei der Ladung.

2) **Beide** Plattenreihen (+ und —) sind mit schwefelsaurem Blei überzogen, was das Aufhören des Stromes zur Folge hat.

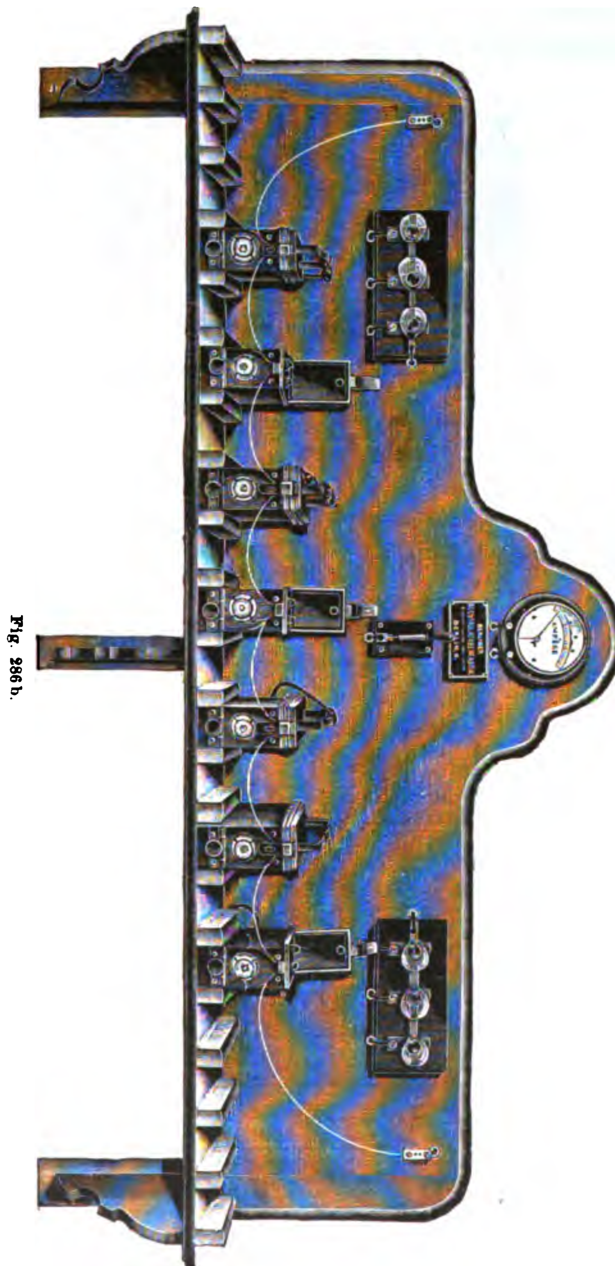


Fig. 286 b.

Die Spannung ist auf 1,85 bezw. 1,80 gesunken. Wird dieses durch das Voltmeter festgestellt, so muſs **unbedingt** neu geladen werden. Von diesem Zustande gingen wir bei der Beschreibung der Ladung aus.

Was die für die Ladung erforderliche Stromquelle anbetrifft, so sind wohl auf allen gröſseren Gruben elektrische Lichtanlagen vor-

handen, von denen der Strom entnommen werden kann. Die Akkumulatoren entwickeln genau so wie Motoren eine „gegenelektromotorische

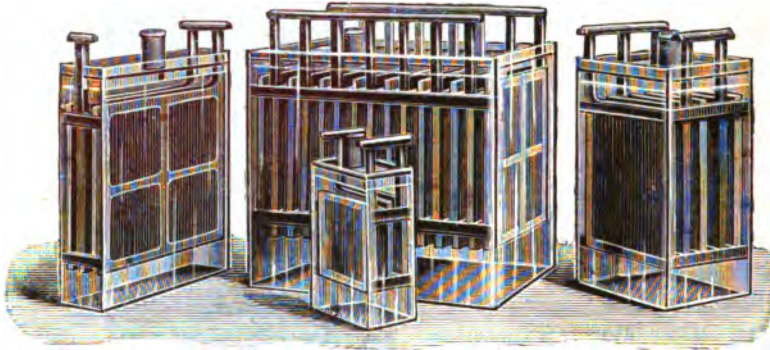


Fig. 286 c.

Kraft". Bei gröfseren Akkumulatorenbatterien (z. B. Pufferbatterien für Fördermaschinen, Grubenbahnen etc.) ist daher unter Berücksichtigung der Erläuterungen der Figuren 111—113 zu beachten, dafs, falls die „gegenelektromotorische Kraft" der Akkumulatorenbatterie über die Betriebsspannung hinaus steigen würde, dies eine Umpolarisierung der Hauptstrommaschine bezw. Störung der Polarität der Kompoundmaschine zur Folge haben würde, während die Nebenschlufsmaschine ihre Polarität beibehält und auch nach Wiederherstellung ihres Übergewichtes über die Spannung der Akkumulatorenbatterie Strom **derselben** Richtung in diese sendet. **Für das Laden der Akkumulatoren sind daher Nebenschlufsmaschinen zu nehmen.**

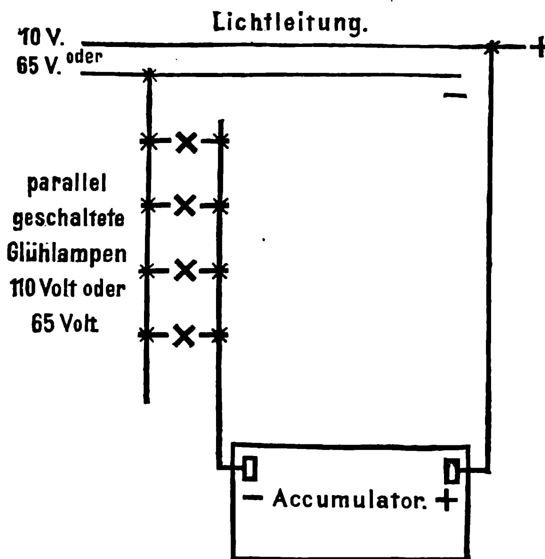


Fig. 286 d.

Dafs die Akkumulatoren nur mit Gleichstrom geladen werden können, versteht sich wohl von selbst. Ist auf einer Grube nur eine

Drehstromcentrale vorhanden, so kann bei kleinem Bedarf an elektrischen Sicherheitslampen der nötige Strom eventuell den „Erregermaschinen“ entnommen werden. Sind viele Lampen zu laden (z. B. bei Rettungsarbeiten in bösen bezw. schlagenden Wettern), so müſste man einen Teil des Drehstromes mit Hülfe von Drehstrom-Gleichstromumformern (Fig. 211—213) in Gleichstrom verwandeln, wenn man nicht vorzieht, für diesen Zweck überhaupt eine besondere Gleichstrommaschine aufzustellen oder die „Erregermaschinen“ stärker zu bemessen. Über die Art und Weise, wie die zu ladenden Akkumulatoren auf die Lichtleitung

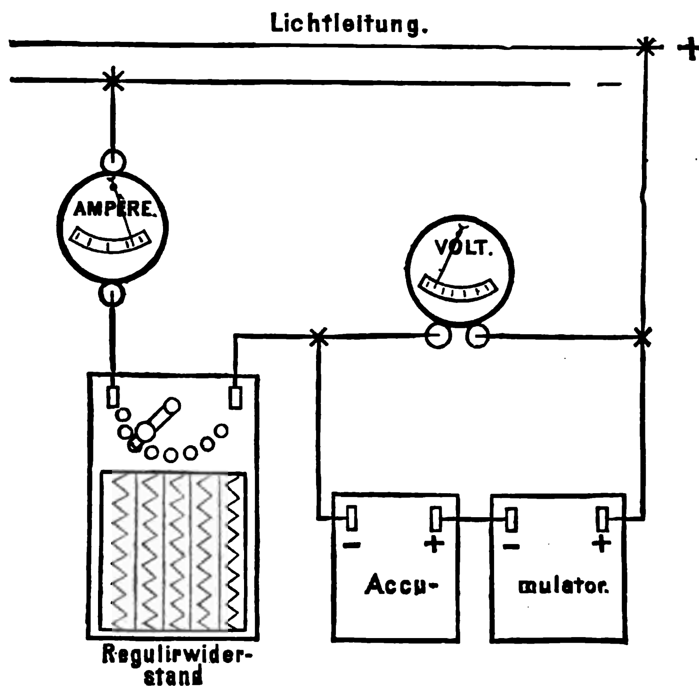


Fig. 286e.

zu schalten sind, geben die Schemata der Figuren 286d Auskunft. In Fig. 286d wird die erforderliche Ladestromstärke durch parallel geschaltete Glühlampen erzielt*), in Fig. 286e durch einen Regulierwiderstand**), dessen Stufenzahl und sonstige Gröſse nach Zahl und Kapazität (bezw. Ladestromstärke) der zu ladenden Akkumulatoren zu berechnen ist.

*) Ist bei 110 Volts nur eine Lampe (L) eingeschaltet, so wird die Stromstärke im Ladestromkreise ca. 0,5 Amp. betragen, bei $2L$ ca. 1,0 Amp., bei $3L$ ca. 1,5 Amp. etc.

**) Hier wird das Ausschalten von Widerstand eine Steigerung der Ladestromstärke zur Folge haben.

Einige Beispiele werden die Verhältnisse klar legen.

1) Es sei eine **Grubenlampe** (Fig. 286a) **der Berliner Akkumulatoren- und Elektrizitäts-Gesellschaft** zu laden. Die Lampe hat zwei in Serie geschaltete Zellen; diese werden also durchschnittlich eine gegenelektromotorische Kraft von $2 \cdot 2{,}2 = 4{,}4$ Volts entwickeln. Die Kapazität betrage 7,5 Ampèrestunden. Wir wollen eine solche kleine Batterie mit einem Strom von 110 Volts bei 0,5 Amp. ($\frac{1}{10}$ der Kapazität) Ladestromstärke laden. Die Ladezeit würde 15 Stunden betragen. Der innere Widerstand pro Zelle betrage 0,05 Ω, also für beide 0,1 Ω, der Widerstand der übrigen Leitung incl. Ampèremeter ebenfalls 0,1 Ω. Wenn nun der gesuchte, vorzuschaltende Widerstand x_R genannt wird, so lautet das Ohm'sche Gesetz:

$$0{,}5 = \frac{110 - 2 \cdot 2{,}2}{x_R + 0{,}2} = \frac{105{,}6}{x_R + 0{,}2}, \quad \text{woraus} \quad x_R = 211\ \Omega.$$

Einen solchen Widerstand hat aber eine 16-kerzige Glühlampe*) (s. Seite 235). Man wird daher eine solche Lampe mit dem zu ladenden Akkumulator und dem Ampèremeter in Serie schalten.

Sollte die Ladestromstärke 1 Amp. und mithin die Ladezeit nur 7,5 Stunden betragen, so würde man haben:

$$1 = \frac{110 - 2 \cdot 2{,}2}{x_R + 0{,}2}, \quad \text{wo} \quad x_R \sim 105\ \Omega.$$

Dazu würde sich vielleicht eine 32-kerzige Glühlampe eignen**); deren Widerstand ist ca. 110 Ω.

2) Es sei eine **„Bristol"-Lampe** (der Bristol-Akkumulatorenfabrik-Wien) zu laden.

Es sind bei ihr **drei** Zellen in Serie geschaltet; also durchschnittliche gegenelektromotorische Kraft: 6,6 Volts. Sie benötigt 0,35 Amp. bei 8—10 Brennstunden, Leistung mithin $6 \cdot 0{,}35 = 2{,}1$ Watt, d. h. die Helligkeit der Lampe beträgt ca. 0,4—0,5 Kerzen.

Wird wieder mit einer Stromstärke von 0,5 Amp. (**sieben** Stunden lang) geladen, so ergiebt sich die Gröfse des vorzuschaltenden Widerstandes, wenn innerer und äufserer Widerstand dieselben wie im Falle 1) sind, aus:

$$0{,}5 = \frac{110 - 2{,}2 \cdot 3}{x_R + 0{,}25} \quad \text{zu} \quad x_R = 208{,}8\ \Omega.$$

Es kann also wieder eine 16-kerzige Glühlampe vorgeschaltet werden, wie das in der Praxis auch geschieht.

*) Ihr Widerstand nimmt ja bei der Erwärmung, also beim Brennen noch etwas ab.

**) Oder auch zwei parallel geschaltete, 16-kerzige Lampen (siehe Fig. 286d und Anm. 1, Seite 259).

3) Es sollen 10 Lampen der ersten Art geladen werden. Ladestromstärke 0,5 Amp. Wir wollen nun auch einmal berücksichtigen, daſs die Spannung pro Zelle zu Anfang nur 1,85 Volts und am Ende der Ladung 2,4 Volts beträgt. Soll die Stromstärke konstant auf 4,5 Amp. gehalten werden, so müſste der vorzuschaltende Widerstand sein:

a) zu Anfang der Ladung:

$$0{,}5 = \frac{110 - 20 \cdot 1{,}85}{x_R + 20 \cdot 0{,}05 + 0{,}1} = \frac{73}{x_R + 1{,}1},$$

$$x_R \sim 145\ \Omega;$$

b) am Ende der Ladung:

$$0{,}5 = \frac{110 - 20 \cdot 2{,}4}{x_R + 20 \cdot 0{,}05 + 0{,}1} = \frac{62}{x_R + 1{,}1},$$

$$x_R \sim 123\ \Omega.$$

Zwischen diesen Grenzen müſste also der Widerstand reguliert werden*). Seiner Gröſse wegen wählt man in solchen Fällen „Glühlampenwiderstände". Man sehe die für dieses Beispiel gültigen Anordnungen in Fig. 286b und 286d (s. auch Anm. 1, Seite 259). Die „Regulierung" ist im vorliegenden Falle auch gar nicht einmal so sehr notwendig, wenn man bedenkt, daſs bei Beibehaltung des Widerstandes von 145 Ω die Stromstärke doch nur auf

$$J = \frac{110 - 20 \cdot 2{,}4}{145 + 1{,}1} = \frac{62}{146{,}1} = 0{,}424 \text{ Amp.}$$

sinken würde. Dieser Umstand trägt gleichfalls nicht wenig zur Erleichterung der Hantierung mit der Ladebühne Fig. 286b bei. Die Zahl der einzuschaltenden „Rheostatenlampen" wird sich dort nur nach der Zahl der zu ladenden Grubenlampen richten und kann ein für alle Mal festgestellt werden, indem dem Aufsichtsbeamten eine kleine Tabelle in die Hand gegeben wird, und auch dieses ist nicht durchaus nötig, da ja auch ein Ampèremeter angebracht ist.

4) Anders verhält es sich mit dem Regulieren bei gröſseren Ladestromstärken.

Es sei eine Akkumulatorenbatterie von 12 Zellen à 40 Ampèrestunden Kapazität (innerer Widerstand 0,1 Ω) bei 8 Amp. ($\frac{1}{5}$ der Kapazität) zu laden. Dann ist die Gröſse des Vorschaltewiderstandes:

a) beim Beginn der Ladung:

$$8 = \frac{110 - 12 \cdot 1{,}85}{x_R + 12 \cdot 0{,}1 + 0{,}1} = \frac{87{,}8}{x_R + 1{,}3}, \quad \text{also} \quad x_R \sim 9{,}7\ \Omega;$$

*) Für 20 Lampen wäre zwischen 70 und 26 Ω zu regulieren.

b) am Ende der Ladung:

$$8 = \frac{110 - 12 \cdot 2{,}4}{x_R + 12 \cdot 0{,}1 + 0{,}1} = \frac{81{,}2}{x_R + 1{,}3},$$

also $x_R \sim 8{,}9\ \Omega$.

Falls 9,7 Ω dauernd eingeschaltet werden, fällt die Stromstärke auf ca. 7,4 Amp. Man wählt in solchen Fällen Drahtwiderstände (für Dauerbelastung von 8 Amp. etc.) Ist die Zahl der Akkumulatoren noch gröſser, etwa 40, so ist die Regulierung noch notwendiger. Steigt sie bei 110 Volts Ladespannung über 50, so müssen die Akkumulatoren gruppenweise parallel geschaltet werden.

Neunzehnter Vortrag.

Elektrische Meſsinstrumente. Volt- und Ampèremeter. Wattstundenzähler. Isolations-Meſsinstrumente.

Zu den notwendigen Instrumenten einer elektrischen Centrale gehören aus bereits bekannten Gründen ein Ampèremeter und Voltmeter sowie eventuell ein Elektrizitätszähler.

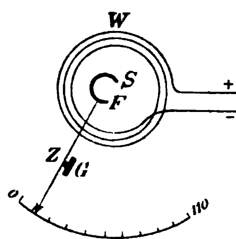


Fig. 287 a.

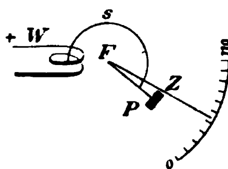


Fig. 287 b.

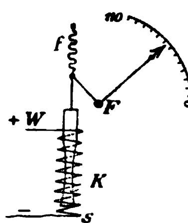


Fig. 287 c.

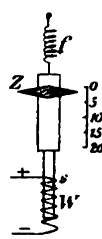


Fig. 287 d.

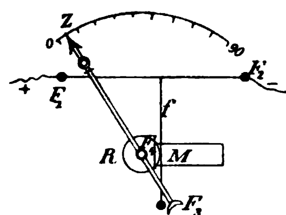


Fig. 287 e.

Über den Unterschied zwischen den beiden ersten Apparaten ist das Nötige in dem zweiten und dritten Vortrage gesagt worden.

Wenn wir daher in den folgenden Beschreibungen teilweise nur von dem Ampèremeter sprechen, so gilt dasselbe mit den nötigen Abänderungen auch vom Voltmeter. Von den vielen Arten von Strommessern führen wir nachstehende „Typen" an, wobei noch vorweg bemerkt wird, daſs in den Fig. 287 a—e stets W die von dem zu messenden Strom oder einem

Teile desselben durchflossene Spule, *s* und *K* der vom Strom auf irgend eine Weise beeinflufste weiche Eisenkern, *F* ein fester Drehpunkt, *Z* der Zeiger, *f* eine Feder oder ein Faden und *P* ein Gegengewicht sein soll.

1) **Ampèremeter nach Hummel** (Fig. 287a).

Je stärker der zu messende Strom ist, um so mehr wird *s* der Spulenwandung genähert, da dort die Anzahl der Kraftlinien pro qcm am gröfsten ist. Der Zeiger wird also nach rechts bewegt. Instrumente dieser Gattung werden von Schu.-N. angefertigt (Fig. 288).

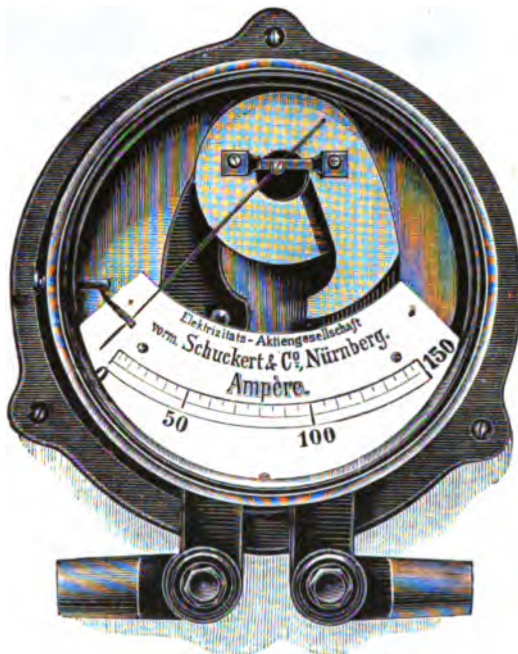


Fig. 288.

2) **Ampèremeter von S. u. H.** (Fig. 287b).

Das Segment *s* wird mit wachsender Stromstärke immer mehr in die Spule *W* hinein gezogen.

Die Instrumente der Firma S. u. H. haben in den letzten Jahren durch den Chef des Berliner Werks, Herrn Prof. Dr. Raps, eine gründliche Durchkonstruktion erfahren, so dafs sie zur Zeit allen Forderungen der Stabilität etc. genügen. Dies ist namentlich durch die Anbringung der „Luftdämpfung" erreicht. Die Achse des Zeigers (Fig. 289) trägt aufser dem eigentümlich geformten Eisenkern (links) an einem sehr feinen Messingrohr die Dämpferplatte (rechts). Diese bewegt sich in dem Dämpferrohr, dessen Luft wie ein elastisches Kissen wirkt; die Schwingungen des Zeigers sind dadurch fast gänzlich vermieden. Fig. 290 giebt das Innere eines Voltmeters nebst dem diesem eigenen Vorschaltewiderstand (rechts; der gröfsere Teil befindet sich noch unter dem Sockel) und Fig. 291 ein Ampèremeter wieder. Die Spule (*W*) ist länglich gebaut, so dafs im Innern nur ein schmaler Spalt übrig bleibt, in dem sich der Eisenkern bewegt. (Gröfste Anzahl der hindurch gehenden Kraftlinien!)

3) **Solenoïd-Ampèremeter von Hartmann u. Braun** (Fig. 287c, siehe auch Fig. 13 u. 14).

Der Eisenkern (s) ist, um den Grad seiner Anziehung stets proportional der Stromstärke zu machen, wie weit er auch in das Solenoïd W hineingezogen werden mag, nach unten spitz zulaufend. (Man sehe

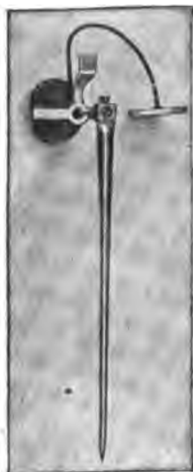


Fig. 289.

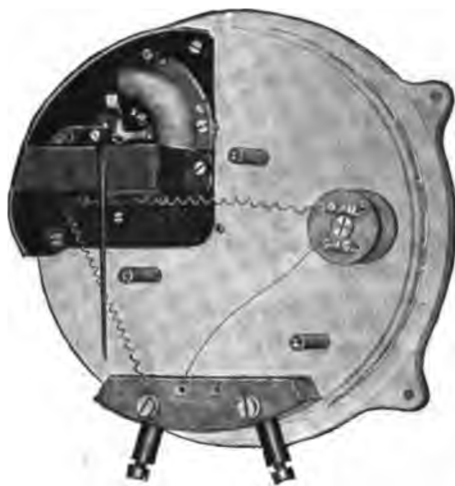


Fig. 290.

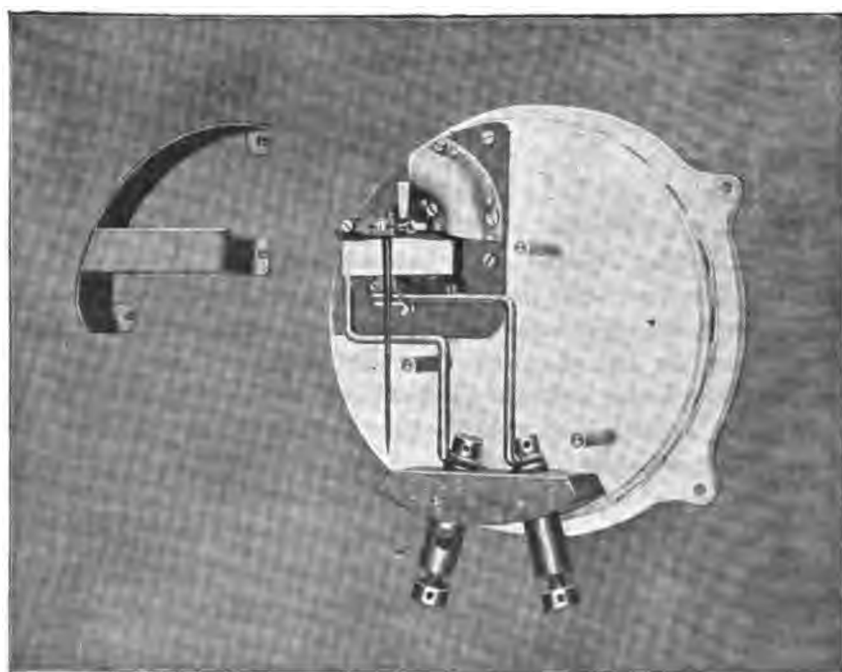


Fig. 291.

dieselbe Mafsregel bei der Schuckert'schen Differentiallampe (Fig. 274 und Fig. 268d).) Der Kern wirkt der Feder f entgegen auf das um F drehbare Hebelwerk. Diese Instrumente haben für die Praxis keinen Wert, sondern dienen nur Demonstrationszwecken.

Sie sind aber für geringere Stromstärken (z. B. beim Laden kleinerer Akkumulatoren) in der durch Fig. 287d angegebenen Anordnung noch in Gebrauch*).

Die bisher genannten Instrumente eignen sich nicht ohne weiteres gleichzeitig für Gleich- und Wechselstrom, sondern sie müssen für beide Stromarten besonders geeicht werden.

Dieser Nachteil fällt bei den **Hitzdraht-Spannungs-** bezw. **Stromstärkemessern von Hartmann u. Braun** fort (Fig. 287e). Sie beruhen auf der durch (Strom-) Wärme hervorgerufenen Ausdehnung eines Platindrahtes F_1F_2, der von dem zu messenden Strom durchflossen wird. Die Dehnung wird vermittelst des Fadens f auf das Rad R nebst Zeiger Z übertragen. Dessen Schwingungen werden durch die auf der Achse F_4 sitzende Kupferscheibe gedämpft, da diese sich zwischen den Polen eines kräftigen (permanenten) Hufeisenmagneten bewegt (s. Fig. 75). Diese Instrumente (Fig. 292) sind sowohl von der Polwechselzahl als auch von Beeinflussungen durch vorüber geführte Starkstromleitungen unabhängig. Doch sollen Nacheichungen erforderlich sein.



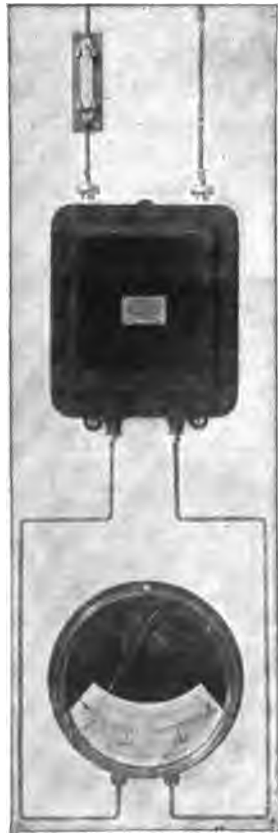
Fig. 292.

Für sehr hohe Spannungen (1000—1500 Volts und mehr) müfste man eigentlich besonders konstruierte Instrumente (z. B. elektrostatische Voltmeter nach Cardew**), Wechselstrom-Induktions-Instrumente der A. E. G.) montieren. Die Instrumente haben jedoch, so gut sie auch ausgeführt sein mögen, gewisse Nachteile und sind aufser-

*) In Verbindung mit einer Registriertrommel nach Art der Barographen können diese Instrumente in einfacher Weise zur dauernden Kontrolle der Stromstärke- und Spannungsschwankungen einer Centrale dienen (z. B. Centrale der Witkowitzer Aktiengesellschaft Mährisch-Ostrau).

**) Eine Art Hitzdraht-Voltmeter, von Ganz u. Co. angefertigt.

dem teuer. Man nimmt daher für diese Fälle lieber seine Zuflucht zu „Mefstransformatoren“. Der zu messende Strom wird nach dem Schema Fig. 60 (bezw. Fig. 251 a), indem man ihn in die Sekundärspule leitet, in solchen von niederer Spannung umgewandelt. Die Enden der Primärspule führen zu dem Mefsinstrument. Da der Transformator ein ganz bestimmtes Umsetzungsverhältnis hat (z. B. 10:1, sagen wir 1000 Volts in 100 Volts), so kann man das Instrument so eichen, dafs es die wirkliche Hauptspannung angiebt. Die Anordnung zeigt Fig. 293 (Schu.-N.). In der linken Leitung befindet sich noch eine Hochspannungssicherung (s. 20. Vortrag).


Fig. 293.

Handelt es sich darum, die einem Leitungsnetze entnommene Strommenge (in Watts) festzustellen, so wird man sich, falls die Spannung und Stromstärke immer dieselben sind und **Gleichstrom** geliefert wird, mit den von den Firmen gelieferten Zeitzählern begnügen können. Die in einem gewissen Zeitraume verbrauchte Strommenge würde einfach durch das Produkt: Stromstärke $\times$ Spannung $\times$ Stunden = Wattstunden ausgedrückt werden. Bei Wechselstrom würde diese Art der Berechnung des Stromverbrauches nur für **reine Glühlicht**beleuchtung ($\cos \varphi = 1$) möglich sein. Sind dagegen Bogenlampen, Motoren, Transformatoren etc., bei denen Induktionswirkungen auftreten, an das Netz gelegt, so tritt bei einfachem Wechselstrom noch der Faktor $\cos \varphi$ und bei Drehstrom $\sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ hinzu. Während also bei einer Drehstromanlage, die nur Glühlampen als Stromverbraucher aufweist, das Produkt $\sqrt{3} \cdot J.E. \times$ Stundenzahl wirklich die Wattstunden liefert, sind diese beispielsweise bei Motorenbetrieb von $\cos \varphi = 0{,}9$ (was schon sehr günstig sein würde) nur $= \sqrt{3} \cdot J.E.\, 0{,}9$, **d. h. um 10% weniger,** als die, welche durch Ablesen an den Strom- und Spannungsinstrumenten gefunden werden. Dieser Umstand im Verein mit der Thatsache, dafs die Stromentnahme doch höchst selten von Stunde zu Stunde dieselbe sein wird, führen zu der Notwendigkeit, noch einen **Elektrizitätszähler** am Schaltbrette, beziehentlich an der Stromverbrauchsstelle anzubringen. Es giebt eine grofse Zahl von Wattstundenzählern verschiedener Systeme,

welche alle Gutes in ihrer Art leisten. Man verlangt von ihnen, dafs sie bei möglichst geringem Stromverbrauch und ebenso billigem Preise eine möglichst grofse Genauigkeit in der Messung innehalten.

1) Die **Pendelzähler** („Stromzähler" der Elektrizitätszählerfabrik G. m. b. H. Aron-Berlin) beruhen auf der Thatsache, dafs die Schwingungsdauer eines Pendels gemäfs der Formel $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (wo t die Schwingungsdauer, l die mathematische Pendellänge und g die Beschleunigung der Erdschwere ist) um so kleiner wird, je kürzer das Pendel und je gröfser die Erdanziehung wird. Die Wirkung der letzteren kann man dadurch vergröfsern, dafs man den gewöhnlichen schweren (Messing-) Körper eines Pendels (Fig. 294 rechts) durch einen Magneten ersetzt, der durch eine vom zu messenden Strome durchflossene Spule beeinflufst wird. Mit wachsender Stromstärke wird, unabhängig von der Spannung, die Schwingungszahl des Pendels wachsen; es wird gegen ein zweites (links)



Fig. 294.



Fig. 295.

voraneilen. Beide Pendel, die durch je ein von Federkraft angetriebenes Uhrwerk in Gang erhalten werden, arbeiten auf ein gemeinschaftliches Zählwerk (in der Mitte); dieses zählt die Differenz ihrer Schwingungen.

Das Zählwerk wird sich nicht bewegen, wenn die Spule stromlos ist; denn dann schwingen ja beide Pendel gleich schnell. — In der beschriebenen Form sind die Instrumente sogen. „**Ampèrestundenzähler**". Falls jedoch die Betriebsspannung dauernd konstant ist, wie das in Centralen der Fall sein wird, erhält man die Wattstunden durch Multiplikation der abgelesenen Ampèrestunden mit der Spannung. — Für Messungen an „Dreileitersystemen" sind zwei Spulen (je eine in der + und der —Leitung, nicht in der 0-Leitung) erforderlich, und das Pendel

wird mit zwei (nach unten entgegengesetzt polarisierten) Magneten versehen (Fig. 295). — Will man aber die Watts ablesen können, so mufs der permanente Magnet durch eine Spule dünnen Drahtes ersetzt werden, die unter Vorschaltung eines hohen Widerstandes in Nebenschlufs zur Leitung gelegt wird; die untere, mit starkem Draht umwickelte Spule befindet sich, wie vorhin, im Hauptschlufs; die erstere wirkt gewissermafsen als Volt-, die zweite als Ampèremeter. Die gegenseitigen Beeinflussungen beider Spulen sind dem Produkt aus Stromstärke und Spannung, also den Watts, direkt proportional. Der Wattstundenzähler Fig. 296 ist für Zweileitersystem, der in Fig. 297 für Dreileitersystem verwendbar. — Die neuesten Konstruktionen der Stromzähler sind mit kürzeren Pendeln ausgestattet, so dafs die Apparate ohne deren Arretierung transportfähig sind und von selbst angehen, sobald



Fig. 296.

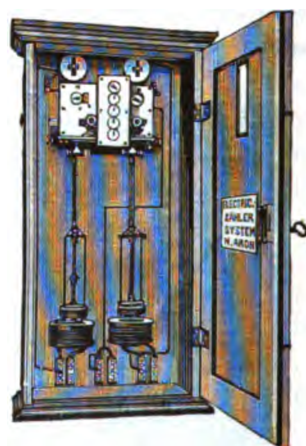


Fig. 297.

die nötige Spannung vorhanden ist. Dazu kommt noch, dafs diese Zähler „elektrisch“ aufgezogen werden (Fig. 298). Sie sind sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom verwendbar (unabhängig von der Periodenzahl bei voller Berücksichtigung der Phasenverschiebung).

2) Die **Motorzähler** (Hummel-München, Schu.-N., Un.-B.) bestehen in der Hauptsache aus **drei** Teilen: dem **Motor**, der **Dämpfung** und dem **Zählwerk.** Der mit einer Trommelwickelung versehene Anker wirkt wieder (durch Vorschaltung eines grofsen Widerstandes und Legung in Nebenschlufs) als Spannungsmesser; die beiden Spulen, welche den Feldmagnet ersetzen aber kein Eisen enthalten, liegen im (zu messenden) Hauptstrom. Mithin wird die Umdrehungszahl des Motors dem Produkte aus Spannung und Stromstärke proportional sein. Die Umdrehungen werden vermittelst eines auf der Motorachse

sitzenden Schneckenrades auf das Zählwerk (oben, fünf Zeiger) übertragen. An dem anderen Ende trägt die Achse eine Kupferscheibe, die sich zwischen den Polen zweier kräftiger Magnete dreht. Hierdurch wird vollständige Proportionalität der Umdrehungen (zu den Watts) erzielt. Auch diese Instrumente können meistens für Gleich- und Wechselstrom gebraucht werden. Der Apparat der Fig. 299 (Schu.-N.) ist jedoch nur als Gleichstromzähler zu installieren. Zum Schutze gegen äufsere Eingriffe, Staub etc. werden die Instrumente mit geeigneten Schutzkappen versehen und plombiert.

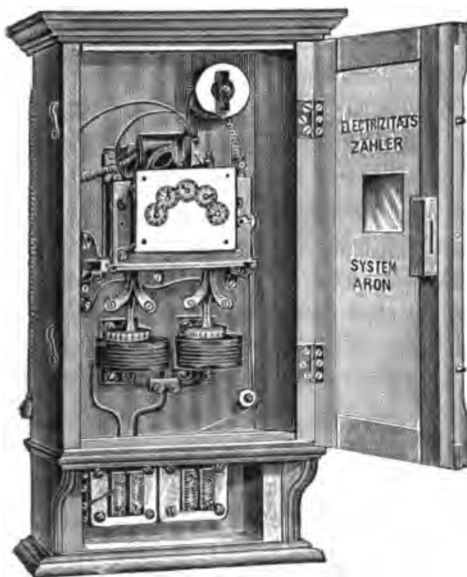


Fig. 298.



Fig. 299.

Bei dem **Wechselstrom-Motorzähler von Bláthy** (He.-K.; Ganz u. Co., Budapest) wird eine Aluminiumscheibe in Umdrehung versetzt, die sich in einem durch eine Hauptstrom- und eine Nebenschlufsspule erzeugten Drehfelde befindet. Die Spulen erregen nämlich je einen Elektromagneten; beide sind um 90° gegen einander gedreht.

Die A. E. G.-Berlin sucht in dem **„Oscillierenden Wattstundenzähler für Gleichstrom“** dadurch eine brauchbare Konstruktion auf den Markt zu bringen, dafs sie die Wattmeterspulen nicht, wie bei den bisher genannten, rotieren, sondern zwischen zwei gegebenen Stellen periodisch hin- und herschwingen, also „oscillieren“ läfst. Die Oscillationen werden wieder in geeigneter Weise auf das Zählwerk übertragen, das direkt die Kilowattstunden abzulesen gestattet.

Dem **Präcisions-Elektrizitätszähler nach Prof. Dr. Raps** (S. u. H.-B.) liegt das Prinzip der absatzweisen Registrierung der Ausschläge, die ein Mefsinstrument macht, zu Grunde.

Es ist nicht möglich, auf diese und andere Typen hier näher einzugehen. Alle Zähler verbrauchen ca. 1—1,5 Watt, bei 100 Volts, für ihren Betrieb und haben mindestens Genauigkeitsgrenzen von $\pm 2\%_0$, die für die Praxis durchaus hinreichend sind.

Die sonstigen für eine elektrische Centrale bezw. Motoren etc. erforderlichen Apparate als: Signalapparate (Fig. 46 u. 47), Spannungswecker (Fig. 99 u. 100), Nebenschlufsregulatoren (Fig. 98 u. 101—107), selbstthätige Ausschalter (Fig. 108 u. 109), Umkehranlafswiderstände (Fig. 115—121) sind schon in den früheren Vorträgen beschrieben worden.



Fig. 300.

Für Wechselstromanlagen kommt, falls Maschinen parallel zu schalten sind, noch ein Phasenindikator hinzu, bestehend in einer oder mehreren Glühlampen in Verbindung mit einem Voltmeter. Denn es ist offenbar, dafs zwei Wechselstromkreise nur dann parallel geschaltet werden können, wenn sie aufser der gleichen Spannung auch gleiche Phase*) haben**). Bei Gleichstrom war die Bedingung für die Möglichkeit der Parallelschaltung gleiche Spannung, die durch Regulieren der Magnetschenkelerregung und Beobachtung am Voltmeter erzielt wurde.

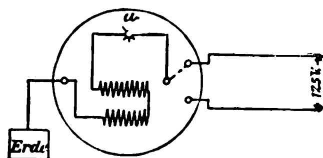


Fig. 300 a.

Ferner kann eine jederzeitige Kontrolle erwünscht sein, ob die Isolation des Leitungsnetzes noch in gutem Zustande ist (vagabundierende Ströme). Diesem Zwecke dient unter andern der Erdschlufsanzeiger, Fig. 300 u. 300 a (S. u. H.-B.). Es sind eine gewöhnliche elektrische Klingel und eine Glühlampe *a* in Serie geschaltet (Fig. 300a). Das eine Ende dieser Schaltung ist an Erde (links) gelegt („geerdet"); das andere kann durch einen einfachen Umschalter an die

*) Dies wird daran erkannt, dafs die Glühlampe im Augenblicke des Einschaltens der zweiten Maschine hell auf und dann gleichmäfsig hell leuchtet.

) Auch die **Wechselzahl mufs dieselbe sein, was ebenfalls durch Regulierung der Umdrehungszahl der Antriebsmaschine erreicht wird.

eine oder andere der Leitungen gelegt werden. Ist der Isolationswiderstand unter 2000 Ω (gegen Erde) gesunken, so läutet die Glocke; beträgt er weniger als 1000 Ω, so erglüht auch die Lampe.

Für gründliche Untersuchungen der gesamten Leitungen — namentlich bei Betriebsstörungen (häufigem Durchschmelzen der Sicherungen, dunklem Brennen der Lampen, grofser Erwärmung der Maschine, Funkenbildungen an den Bürsten etc.) — bedient man sich höchst solide konstruierter **„Isolationsmesser“**, die selbst in den Händen eines einfachen Monteurs sicher funktionieren. Ein Apparat dieser Art ist in Fig. 301 abgebildet (S. u. H.-B.). Seine Hauptbestandteile sind ein Galvanoskop mit Spule von hohem Widerstande (links) und ein Kurbelinduktor (magnetelektrische Maschine, rechts). Beide werden hinter einander geschaltet. Während der Induktor dauernd in den tragbaren Kasten (Gew. 3 kg) eingebaut wird, kann das Galvanoskop bei einer Konstruktionsart auch herausgenommen werden. Die Messung des Widerstandes erfolgt nach der Methode des direkten Ausschlages, und es kann das Resultat mit angenäherter Richtigkeit an der Galvanoskopskala abgelesen werden. Der benötigte Strom wird bei dem dargestellten Instrument durch kräftiges Drehen der Induktionskurbel (ca. drei Umdrehungen pro Sekunde) erzeugt. Bei anderen Apparaten bedient man sich (statt des Magnetinduktors) einer eingebauten Batterie von Trockenelementen (S. u. H., A. E. G.), oder man nimmt die Messung mit dem Betriebsstrome vor (S. u. H.-B.). Die Figuren 302—304 zeigen einige Beispiele der Anwendung des Apparates.



Fig. 301.

1) Fig. 302. Soll der Isolationswiderstand der Umhüllung eines Leitungsdrahtes festgestellt werden, so umwickelt man die zu untersuchende Stelle mit einem Stanniolstreifen. Dieser wird mit der Induktorklemme, der (isolierte) Kupferdraht dagegen mit der Galvanoskopklemme verbunden.

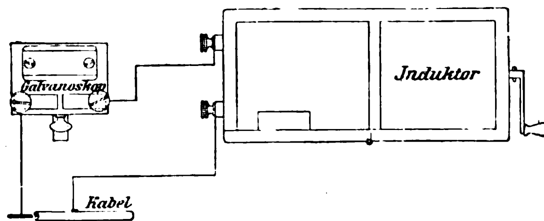


Fig. 302.

2) Fig. 303. Zwecks Bestimmung der Isolation einer Leitung gegen Erde (Prüfung auf „Erdschlufs“) legt man die Galvanoskopklemme an die betr. Leitung und die Induktorklemme durch einen dünnen, ca. 1 mm dicken, übersponnenen Kupferdraht an Erde.

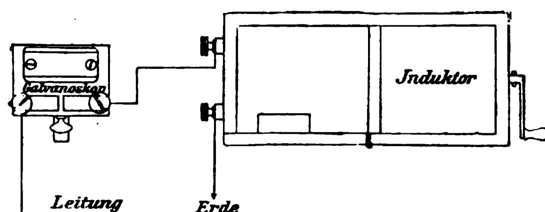


Fig. 303.

Auf ähnliche Weise kann die Isolation der Magnetwickelung einer Dynamomaschine bezw. eines Motors gegen das Magnetgestell oder gegen Erde, die Isolation der Kupferlamellen des Kollektors unter sich (siehe auch Fig. 304) und gegen die Ankerachse bezw. gegen Erde untersucht werden.

Als letztes Beispiel wählen wir die Untersuchung einer Doppelleitung auf Kurzschlufs (Fig. 304). Die Enden der Leitung sind dann zu isolieren, indem man die Sicherungen herausnimmt bezw. im Falle einer Hauptleitung diese auch noch von der Dynamomaschine trennt. Das Verfahren ist aus der Figur verständlich.

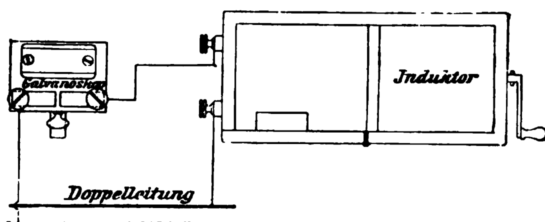


Fig. 304.

Wie grofs die einzelnen Isolationswiderstände sein müssen, falls die Leitungen noch als betriebssicher gelten sollen, darüber geben die drei kleinen Hefte des Verbandes Deutscher Elektrotechniker [Sicherheitsvorschriften für Schwachstrom-, Starkstrom- (bis 250 Volts) und Hochspannungsanlagen (mehr als 1000 Volts)], die auf keiner Grube fehlen sollten, nähere Auskunft.

Wir wollen hier nur als besonders wichtig aus dem § 17 der Sicherheitsvorschriften für Starkstromanlagen anführen, dafs der Isolationswiderstand des ganzen Leitungsnetzes gegen Erde mindestens $\frac{1000000}{n}$ Ohm und die Isolation für jede Hauptabzweigung mindestens $10000 + \frac{1000000}{n}\ \Omega$ betragen mufs. In den Formeln ist n die Anzahl der an die betreffende Leitung angeschlossenen Glühlampen. Für jede Bogenlampe, jeden Motor oder anderen stromverbrauchenden Apparat sind zehn Glühlampen in Rechnung zu stellen.

Die vorstehenden Forderungen gelten, wie gesagt, nur für „**Starkstromanlagen**“ (Abteilung I der Vorschriften). Die weiteren Vorschriften lauten:

Für „**Mittelspannung**" (250—1000 Volts) ist in den obigen Formeln statt 1000000 die Zahl 3000000 zu setzen. „Der Isolationswiderstand von Freileitungen mufs bei Regenwetter mindestens 100000 Ω für das km einfacher Länge betragen." (Abt. II der Vorschr.)

Für „**Hochspannung**" (über 1000 Volts) gelten als isolierte Leitungen solche umhüllte Leitungen, welche nach vierundzwanzigstündigem Liegen in Wasser bei Spannungen unter 3000 Volts die doppelte Betriebsspannung, bei höheren eine Überspannung von 3000 Volts gegen das Wasser eine Stunde lang aushalten.

— — —

Zwanzigster Vortrag.

Die elektrische Leitung. Sicherungen. Ausschalter. Blitzableiter. Arten des Antriebes von Dynamomaschinen.

Es war schon hervorgehoben worden, dafs die elektrische Leitung einen nicht geringen Teil der Anlagekosten einer elektrischen Kraftübertragung verschlingt, zumal wenn es sich um gröfsere Entfernungen handelt. Von ihrer sorgfältigen Anfertigung und ordnungsmäfsigen Verlegung hängt die Betriebssicherheit sehr ab.

Als Leitungsmaterial verwandte man bisher eigentlich nur Cu (Leitungsvermögen 55—58). Da indessen der Preis dieses Metalles bedeutend gestiegen ist, so hat das eine bedeutende Verteuerung der elektrischen Leitung wie überhaupt aller elektrischen Maschinen zur Folge gehabt. Man hat in neuerer Zeit versucht, das Kupfer durch das bedeutend billigere Aluminium zu ersetzen (A. E. G.-Berlin). Allerdings leitet letzteres den elektrischen Strom schlechter — die Leitungsvermögen verhalten sich ungefähr wie 1 : 1,7 —, so dafs der Querschnitt der Aluminiumleitung 1,7 mal gröfser zu nehmen ist, als der einer für dieselbe Stromstärke berechneten Kupferleitung; dafür ist aber Aluminium bedeutend leichter als Kupfer (2,6 : 8,9 $\sim$ 2 : 7). Man macht als Vorzüge des Aluminiums die folgenden geltend:

1) Es wird eine Ersparnis von 35—40% erzielt.

2) Die Totalfestigkeit ist wegen des gröfseren Querschnittes dieselbe wie beim Kupfer.

3) Das Gewicht ist nur halb so grofs als das einer gleichwertigen Kupferleitung. Infolgedessen sind gröfsere Spannweiten möglich, so dafs an Garniturteilen gespart wird.

4) Aluminium besitzt gegen die oxydierenden Einflüsse der Luft und des Wassers eine hohe Widerstandsfähigkeit.

Bei Kabeln wird die Ersparnis infolge der durch den erhöhten Querschnitt bedingten gröfseren Aufwendung für Isolationsmaterial freilich wieder herabgedrückt. Es ist daher Aluminium vorläufig nur bei blanken Leitungen zu verwenden*).

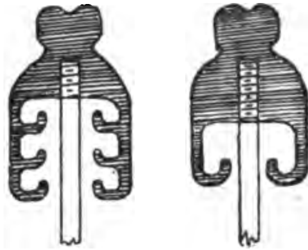


Fig. 305.

Wo es irgend angeht, wird man natürlich auch diese wegen des billigeren Preises anwenden. Die Leitungen müssen in diesem Falle auf Isolatoren und Stangen ähnlich wie Telegraphenleitungen verlegt werden. Für hochgespannte Ströme sind besondere Isolatorglocken (Deltaglocken etc.) zu montieren, die bei sehr hohen Spannungen in ihren Rinnen Öl haben, so dafs die Entstehung eines Erdschlusses unmöglich gemacht wird (Fig. 305, älteres Modell). Geht die Leitung über eine andere (z. B. Telegraphenleitung) hinweg, so ist die letztere gegen etwa herabfallende, Strom führende Drähte (z. B. beim Zerreifsen) durch ein unter die erstere gespanntes Drahtnetz zu schützen. Sind Bahndämme zu überschreiten,

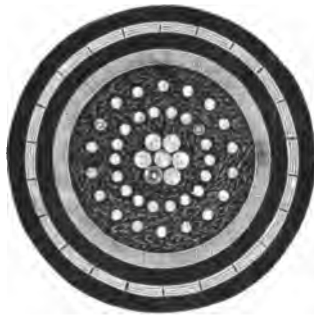


Fig. 305 a.



Fig. 305 b.

so wird man wohl oder übel für diese Strecke ein Stück Kabel einschalten müssen. Wenn die elektrische Energie in die Grube geführt werden soll, so wird man die Anwendung des teuren Kabels für die Verlegung im Schachte nicht umgehen können. Dasselbe gilt auch für „unter Tage“ selbst, wenn die Leitung hochgespannten Strom führt.

*) Ein Nachteil des Aluminiums ist seine schwere Lötbarkeit. Diesen Fehler sucht die A. E. G. durch Anwendung von Verbindungsmuffen wett zu machen.

Ist es jedoch möglich, die Legung der Leitung teilweise in nicht mehr benutzten Strecken zu bewerkstelligen, so können diese Teile in blanken Leitungsdrähten ausgeführt werden. An geeigneten Stellen mufs jedoch durch den gezackten Pfeil und die Notiz: „Hochspannung, Lebensgefährlich!" der Grubenarbeiter vor dem Berühren der Leitungen gewarnt werden.

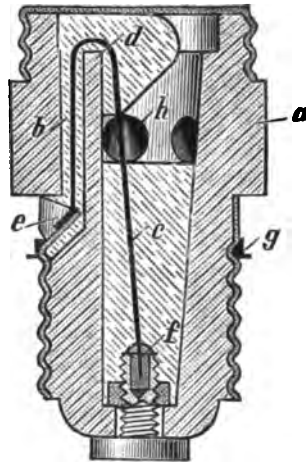


Fig. 306.

Die Kabel setzen sich gewöhnlich folgendermafsen zusammen: Die beiden bezw. drei Leitungen sind meistens in einem Kabel vereinigt und werden aus einer gröfseren Anzahl von Litzen gebildet. Für den einen Leitungsdraht sind diese in der Mitte des Kabels (als Seele) befindlich. Um diesen Kern ist eine Isolierhülle geprefst; dann ist konzentrisch dazu der zweite Leiter angeordnet; es folgt abermals eine Isolierhülle, dann ein doppelter Bleimantel, welcher von einer mit Teer getränkten Schicht umgeben wird; um diese legt sich eine „Drahtarmatur", welche das Kabel gegen mechanische Verletzungen schützt; schliefslich ist das Ganze noch einmal durch Gespinst isoliert. In Fig. 305a und 305b (S. u. H.) sind zwei Arten von Grubenleitungskabeln abgebildet. (Querschnitte: 3×25 qmm für 2×500 Volts und 3×25 qmm für 3×2000 Volts.)

Die sich von der Hauptleitung abzweigenden Leitungen, die den Strom den einzelnen Verbrauchsstellen zuführen, werden je nach den


Fig. 307.


Fig. 308.

örtlichen Verhältnissen auch „frei verlegt" oder auf Isolatorglocken, -Knöpfen oder -Ringen an den Seitenstöfsen, **meistens** an der **Firste** befestigt. — Für Mauerdurchführungen werden Porzellanröhren, Hart-

gummiröhren (A. E. G.), sowie sogen. Ellbogen und Kröpfungsstücke (Bergmann) verwendet.

Um die Zweigleitungen, Meſsinstrumente, sonstige Apparate und Motoren gegen zu starke Ströme zu schützen, sind überall dort, wo sich eine Leitung abzweigt, und vor den Instrumenten etc. **„Sicherungen“** einzuschalten. Diese bestehen für niedere Spannungen aus leicht schmelzbaren Metallstreifen (früher meistens **Blei**; Schmelzpunkt 335° C.), deren Querschnitt so gewählt ist, daſs sie beim Überschreiten einer gewissen Stromstärke durchschmelzen und so den Strom unterbrechen. Für geringere Stromstärken (bis 30 Amp.) verwendet man „Stöpsel“- bezw. „Patronensicherungen“, für gröſsere Stromstärken (30—1000 Amp.) „Streifensicherungen“. — **Der Querschnitt der Drähte bezw. Streifen wächst mit der für den betreffenden Stromkreis zulässigen Stromstärke, die Länge dagegen mit der Spannung.**

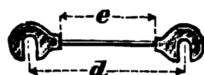


Fig. 309a.

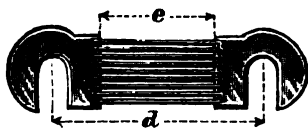


Fig. 309b.


Fig. 309c.

Die **„Stöpselsicherungen“** der A. E. G., die mit Edisongewinde (cf. Glühlampen) versehen sind, haben in letzter Zeit einige Verbesserungen erfahren. Der Schmelzdraht *c* (Fig. 306) wird bei *e* und *f* angelötet. Das Stöpselinnere und der Kanal *b* werden mit Gips ausgefüllt; es bleibt nur ein kurzes Stück des Schmelzdrahtes frei. Die Löcher *h* wirken als Auspufföffnungen für die beim Schmelzen des Drahtes sich entwickelnden Gase bezw. Dämpfe. Durch den bei den verschieden starken Sicherungen in unterschiedlichen Höhen (2 mm) aufgelöteten „Anschlagsring“ *g* wird die „Unverwechselbarkeit“ der Stöpsel gesichert, d. h. es wird verhütet, daſs in eine Sicherungsbrücke, die zur Aufnahme einer Sicherung für eine bestimmte Stromstärke bestimmt ist, eine Sicherung für eine höhere Stromstärke geschraubt werden kann.


Fig. 310.

In Fig. 307 ist die eingeschraubte Sicherung zu stark: es findet kein Kontakt mit der einen Zuleitungsklemme statt; in Fig. 308 ist sie zu schwach: Kontakt ist allerdings vorhanden.

Die **„Streifensicherungen“** bestehen für gröſsere Stromstärken aus einer gröſseren Anzahl parallel geschalteter Streifen, wodurch eine

grössere Abkühlungsfläche erreicht wird. Fig. 309a, b, c zeigen drei solche Schmelzeinsätze für 60, 500 und 1000 Ampères (A. E. G.).

Fig. 310 (Schu.-N.) giebt die Art und Weise wieder, wie die Streifensicherung eingesetzt wird; rechts ist sie mit der Schutzkappe versehen. Soll die Sicherung aus einer unter Strom befindlichen Leitung (bei höherer Spannung) herausgenommen werden können, so ist sie auf einem mit Handgriff versehenen Sockel zu montieren und nach Art der Fig. 311 (Schuckert: Sicherung für 600 Volts) einzusetzen. **Hochspannungssicherungen** (Fig. 311a) werden in der Weise hergestellt, dass einer oder mehrere Silberdrähte in ein Glasrohr eingeschlossen werden, das an beiden Enden zum Teil mit einer feuersicheren Masse ausgefüllt ist, so dass nur in der Mitte der Draht sichtbar ist. Schmilzt dieser durch, so löscht die Masse den sich bildenden Funken aus. Die Enden dieser durch Porzellankappen verschlossenen Röhren tragen Metallbleche, an die der Streifen gelötet ist. Die Hochspannungssicherungen werden immer hinter der Schalttafel angebracht.



Fig. 311.



Fig. 311a.

Eine recht praktische Neuheit sind die „**Patronensicherungen**“ von S. u. H.-Ch. Die Schmelzdrähte liegen in zickzackförmigen Kanälen einer aus Cement hergestellten cylindrischen Patrone (Fig. 312), die an den Seiten sechs schiessschartenartige Auspufföffnungen für die beim Durchschmelzen entstehenden Metalldämpfe trägt. Die irrtümliche Verwendung zu starker Schmelzeinsätze wird durch 1—7 kleine Stellmuttern aus Vulkanfiber von je 5 mm Höhe vermieden. Das nachträgliche Einziehen zu stark dimensionierten Abschmelzdrahtes, wie man es auch auf Gruben bei etwas sorglosen Monteuren in Ausübung findet, wird dadurch verhindert oder doch für den Revisionsbeamten



Fig. 312.

bemerkbar gemacht, dafs auf die Lötstellen der Kontaktplättchen, zwischen welchen sich die Schmelzdrähte befinden, Kontrollstempel



Fig. 313a.



Fig. 313b.

aufgedrückt werden. Zum Schutze der Strom führenden Teile gegen die Metalldämpfe sind unterhalb der Sicherung Schutzblätter aus imprägnierter Papiermasse angebracht. Dies ist aus der Fig. 313a ersichtlich, welche eine auf einem Isolator montierte Sicherung zeigt. Zum Schutze der Umgebung vor abschmelzendem Blei und etwaigen Feuererscheinungen sowie gegen Regen dienen die noch oben aufgeschraubten Schutzkappen (gleichfalls aus schwarzer, imprägnierter Papiermasse, Fig. 313b).

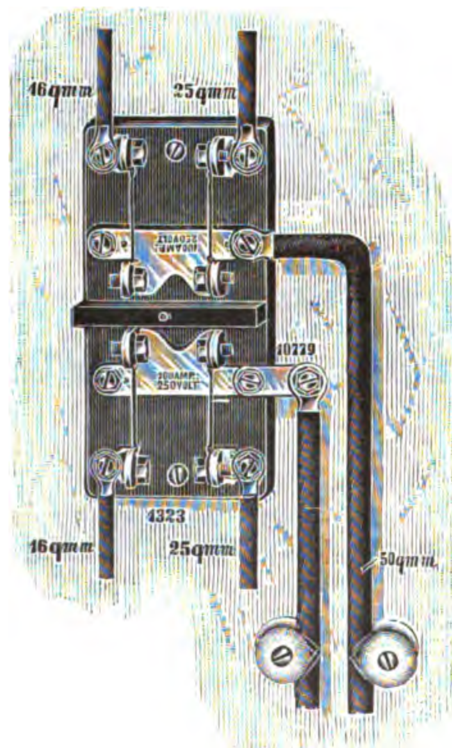


Fig. 314.

Die Übersichtlichkeit wird bedeutend erhöht und die Montage sehr vereinfacht durch Verwendung sogenannter „**Verteilungssicherungen**“. Es wird nämlich eine gröfsere Anzahl von Sicherungen auf einer gemeinsamen Grundplatte von Porzellan, Schiefer oder dergl. montiert und mit Verbindungsschienen versehen. Fig. 314 ist eine Verteilungssicherung der A. E. G., Fig. 315a eine solche von S. u. H., und zwar mit verschliefsbarem Schutzkasten sowie unter Glas befindlichen Kartonblättern, auf denen die

betreffenden Leitungsquerschnitte und Stromstärken verzeichnet werden. Fig. 315 b giebt die Schaltungsanordnung*) der Siemens'schen Type wieder.

In der Grube ist die Isolation von Sicherungen, Ausschaltern etc. natürlich wegen der dort stets herrschenden Feuchtigkeit besonders sorg-

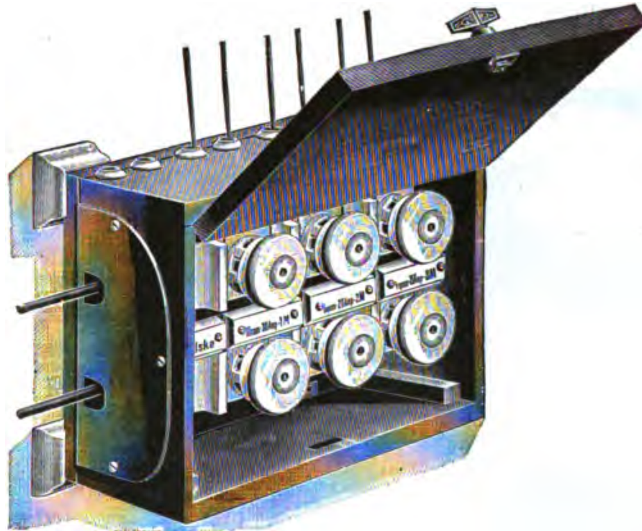


Fig. 315 a.

fältig auszuführen. Die gröfseren Elektrizitätsgesellschaften fabrizieren für diese Zwecke ganz besondere Apparate. Man sehe beispielsweise den Momentausschalter für feuchte Räume in Fig. 316 (Schu.-N.).

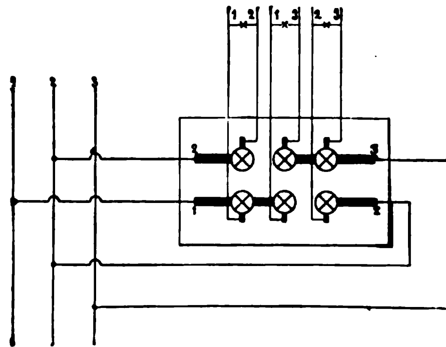


Fig. 315 b.

Zum Schutze der Freileitungen sind **Blitzschutzvorrichtungen** unerläfslich. Das einfachste Mittel besteht darin, dafs man oberhalb der stromführenden Drähte noch einen Stacheldraht montiert und diesen in gewissen Abständen mit der Erde in bekannter Weise (Platten von ca. 1,5 qcm Oberfläche) leitend verbindet. Der Blitz geht dann durch diese Leitungen zur Erde statt in die Maschinen, Transformatoren etc., wo er infolge der hohen Selbstinduktion dieser Apparate einen zu hohen Widerstand finden würde. Diese Selbstinduktion spielt überhaupt bei allen derartigen Anlagen eine grofse Rolle, da der Blitz viel

*) Für Drehstrom!

leichter seinen Weg durch einen gröfseren, aber **induktionsfreien** Widerstand nimmt. Bei der einen Type der Blitzableiter von S. u. H. stehen zwei geriefelte Platten aus Kohle (ähnlich den Metallplatten bei Blitzableitern der Telegraphenanlagen) unter Öl einander gegenüber. Der im Augenblicke des Blitzdurchganges entstehende Stromschlufs von seiten des Maschinenstromes wird dazu benutzt, um vermittelst einer Drahtspule einen Eisenkern hoch zu ziehen, der die Kontaktplatten von einander entfernt, so dafs der Strom unterbrochen wird; der dabei auftretende Lichtbogen wird durch das sogleich zwischen die Kontakte fliefsende Öl gelöscht.



Fig. 316.

Der **„Walzenblitzableiter“** derselben Firma für **Wechselstromanlagen bis 500 Volts** besteht aus drei auf einen Porzellanfufs dicht neben einander gesetzten Metallwalzen, die aus einer besonderen Legierung hergestellt sind (Fig. 317a). Von den äufseren Walzen wird die eine mit der zu schützenden Leitung, die andere mit der Erde verbunden (Fig. 318). Dadurch werden zwei vom Blitze zu durchschlagende, hintereinander geschaltete Funkenstrecken gebildet. Wegen der Materialbeschaffenheit der Walzen ist der Wechselstrom nicht imstande, den durch den Blitz zwischen den Walzen gebildeten Lichtbogen zu unterhalten.

Für **Hochspannungsanlagen** (2000 Volts und mehr) wird von S. u. H. der gut funktionierende **„Hörnerblitzableiter“** fabriziert. Zwei eigentümlich geformte Kupferdrähte stehen, auf Isolatoren montiert, einander gegenüber (Fig. 319). Entsteht durch einen Blitzschlag zwischen den unteren, geradlinigen Teilen der Drähte ein Lichtbogen, so wird dieser durch die aufsteigende warme Luft und durch gewisse elektrodynamische Wirkungen des die Drähte durchfliefsenden Stromes nach oben getrieben; er wird immer länger und erlischt schliefslich. Der ganze Vorgang spielt sich innerhalb weniger Sekunden ab und ist aus der Photographie der Fig. 320 (die infolge eines eigentümlichen Verfahrens nur wenige von den vielen Lichtbögen wiedergiebt) ersichtlich. Hinsichtlich der Schaltung sehe man Fig. 321.

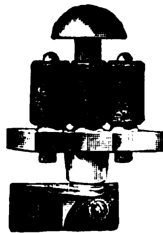


Fig. 317a.



Fig. 317b

Auch die **Union** liefert einen auf ähnlichen Wirkungen beruhenden Blitzableiter, der statt der Drähte eigenartig geformte Platten besitzt (von Elihu Thompson, Fig. 322). Aber gerade wegen dieser flächenartigen Ausbildung bedarf dieser Apparat noch eines besonderen „magnetischen Gebläses", das den Lichtbogen nach oben treibt.

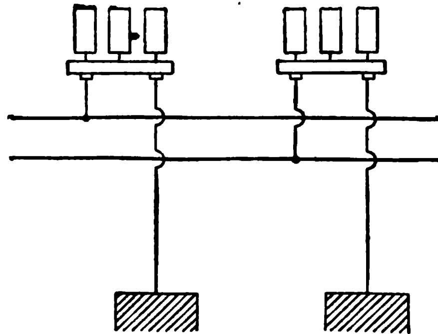


Fig. 318.

Einen weiteren wichtigen Bestandteil der elektrischen **Wechselstromleitung** machen die **„Transformatoren"** aus. Wir hatten schon früher bemerkt, dafs sie nicht viel Platz beanspruchen und bequem in geeigneten Säulen oder, z. B. in der Grube, in verschliefsbaren, nur dem Aufsichtspersonal zugänglichen Räumen aufgestellt werden können. Ihre Wirkungsweise beruhte ja auf den im 7. Vortrage (Figur 60, Exper. II und III) vorgeführten Versuchen. Der innerhalb kurzer Zeiträume ($\frac{1}{50}$—$\frac{1}{100}$ Sekunden) beständig an Stärke ab- und zunehmende und seine Richtung ändernde Wechselstrom von verhältnismäfsig geringer Spannung — sagen wir 500 Volts — wird in die „Primärspule" des Transformators, aus wenig Windungen bestehend, geleitet (Fig. 323 unten links; Hauptmann-Leipzig)*) geleitet und erzeugt in der Sekundärwickelung, die aus vielen Windungen dünnen Drahtes besteht, Wechselstrom von hoher Spannung. Dieser hochgespannte Strom wird durch die Leitung *L* nach der entfernt liegenden Station geleitet und geht dort in die Sekundärwicklung des Transformators T_2; dadurch wird der Strom wieder auf die für den Verbrauch gewünschte Spannung „niedertransformiert". Der Verbrauchsstrom wird demnach

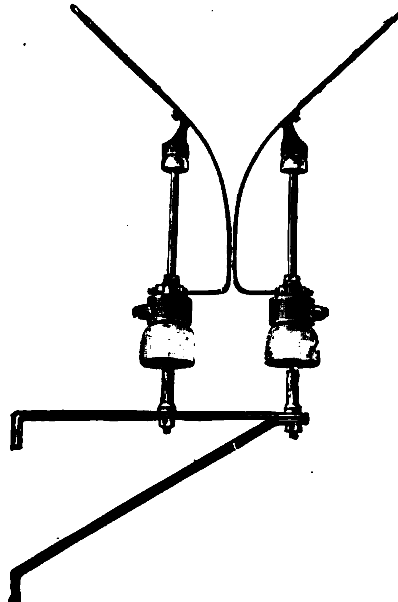


Fig. 319.

*) Die Figur ist nur schematisch. Die Spulen sind über einander geschoben zu denken.

der primären Spule bezw. den Spulen des letzten Transformators entnommen.

Das „Umsetzungsverhältnis" des Transformators hängt natürlich von dem Verhältnis der Windungen der primären und sekundären Spulen ab. Der Wirkungsgrad ist 90 bis 95%. — So nimmt z. B. ein auf Bahnschacht der Königsgrube bei Königshütte O. S. installierter Schuckert'scher Transformator (Fig. 324) Strom von 2,2 Amp. und 500 Volts (= 1100 Watt) auf und giebt 84,34 Amp., 120 Volts

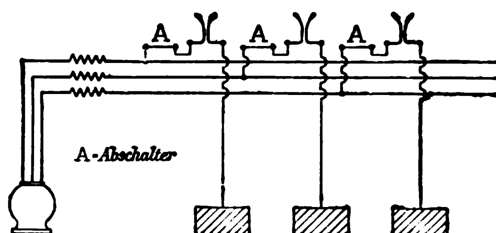


Fig. 321.

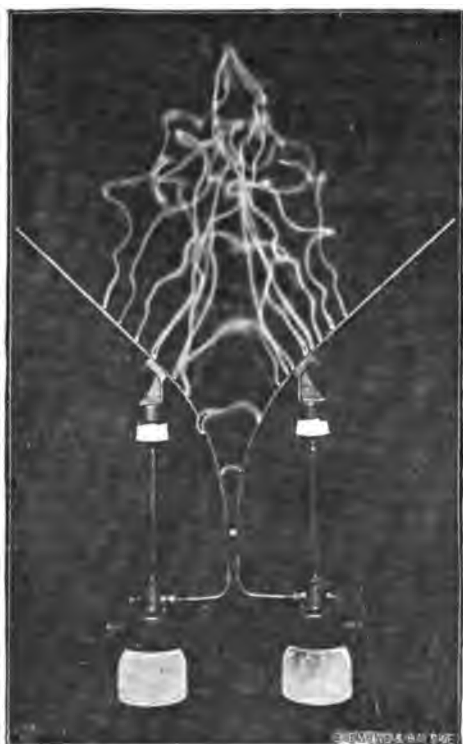

Fig. 320.


Fig. 322.

(= 1000,8 Watt) ab; mithin ist der Wirkungsgrad ca. 90%. Die Transformatoren für Drehstrom bestehen aus drei Spulenpaaren und ebenso vielen aus Eisenblättern (Foucaultströme!) zusammengesetzten Eisenkernen. (Fig. 325 von Schu. u. Co., Fig. 326 von der A. E. G.) Die Spulen werden gewöhnlich nach der Sternschaltung vereinigt.

Um uns einen Begriff von den Spannungsverhältnissen zu machen, mit denen man zur Zeit auf Grubenanlagen rechnet, mögen hier folgende Beispiele angeführt werden:

1. „Krugschacht“ der fiskalischen Königsgrube bei Königshütte O.S.

Der von der Centrale „Chorzow“ der A. E. G. der Grube gelieferte Strom kommt mit einer Spannung von 6000 Volts an den genannten Schacht. Hier wird er über Tage auf 525 Volts transformiert und dann per Kabel an den Seitenstößen des Schachtes hinab zum Antriebe von unter Tage aufgestellten Seilfördermaschinen und Ventilatoren geleitet. Für die durch Glühlampen bewerkstelligte Beleuchtung der Maschinenräume und Förderstrecken wird ein Teil des Stromes noch auf 125 Volts heruntertransformiert.

Würde man Bogenlampen nicht zu zweien bezw. dreien, sondern **einzeln** parallel schalten wollen, so könnte man für diesen Fall noch auf 40 Volts herunter transformieren; Transformatoren dieser Art werden auch von S. u. H. geliefert.

2. Hohenegger-Schacht zu Karwin und Albrecht-Schacht zu Peterswald. (Erzherzogl. Friedrich'sche Berginspektion zu Teschen, Österr. Schlesien.)

Die auf dem Hohenegger-Schachte errichtete Centrale liefert zum Antriebe der dort befindlichen Fördermaschine (ca. 100 PS.), einer Kreiselpumpe, eines Rateauventilators (100—150 PS.) und eines eben solchen in 2,5 km Entfernung (Gabrielenzeche) Drehstrom von 550 Volts Spannung und ca. 27 Perioden pro Sekunde. Um auch den Motor (300 PS.) der Fördermaschine des 9 km entfernten Albrecht-Schachtes mit Strom zu versorgen, wird ein weiterer Teil des Stromes auf 10000 Volts transformiert und am Verbrauchsorte zuvor zurücktransformiert. Für den Betrieb von zwei unter Tage eingebauten Förderhaspeln ist auf Albrecht-Schacht noch eine kleinere Drehstrommaschine installiert, welche Strom von 500 Volts Spannung hergiebt.

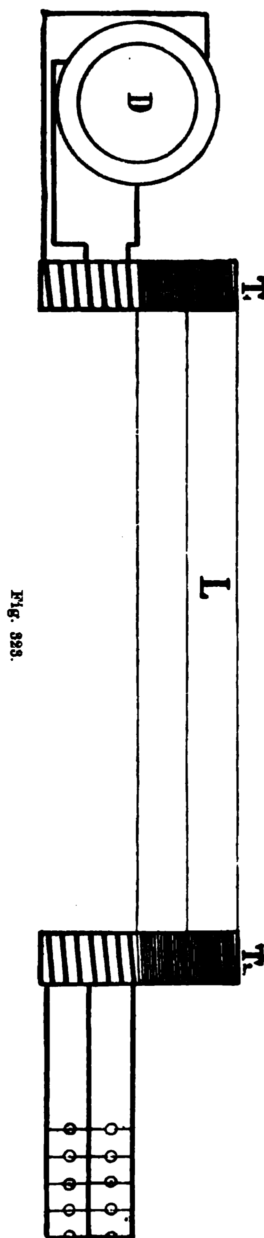


Fig. 323.

Wollte man nun vielleicht unter Tage noch eine elektrische Lokomotivförderung mit Gleichstrombetrieb einrichten, so wäre unter

Tage ein Drehstrom-Gleichstromumformer (Figur 211—213) einzubauen.

3. **Antonienhütte O. S.** (Gruben- und Hüttenanlagen der Gräfl. Henckel'schen Verwaltung.) Die Centrale hat Gleichstrom- und Drehstrommaschinen. Die ersteren und teilweise auch letztere versorgen die 25—30 Motoren der näheren Umgebung (Blendemühlen, Ziegelpressen, Thonmühlen, Wasserpumpen, Ventilatoren und Schiebebühnen) mit Strom. Die Motoren, welche in gröfserer Entfernung (maximal ca. 7 km) aufgestellt sind (Aschenborn- und Steinbergschacht?), werden mit Drehstrom betrieben. Dieser wird in der Centrale zu 500 V. erzeugt, auf 4600 V. transformiert, nach den genannten Verbrauchsstellen geleitet (Oberleitung) und **unter** Tage auf 500 V. herunter transformiert.

Wir wollen unsere Gesamtdarstellung der Anwendungen der „Elektrizität im Bergbau" nicht schliefsen, ohne kurz der **Kraftquellen** zu gedenken, welche sich der Bergmann **zum Betriebe seiner Dynamomaschinen** nutzbar machen kann.



Fig. 324.

Die **Dampfkraft** hat zur Zeit das gröfste Verwendungsgebiet und wird es wohl auch noch lange behalten. Die Dampfmaschinen werden entweder mit der Dynamo direkt gekuppelt (bei 70—120 Touren der letzteren), oder es werden Riemenübertragungen angewendet. — Neuerdings macht man mit grofsem Erfolge die Abzugsgase der Hochöfen nutzbar, indem man jene nach vorhergegangener Reinigung zur Speisung von Gasmotoren (Deutz, Gebr. Körting-Hannover-Körtingsdorf) benutzt, welche ihrerseits die Dynamomaschinen antreiben (z. B. Friedenshütte bei Morgenroth O. S.). Ja, manche Städte hoffen noch auf ihre Kosten zu kommen — und sie thun das auch —, wenn sie einen Teil des in den bereits bestehenden Leuchtgasanstalten produzierten Leuchtgases zum Gasmotorenbetriebe heranziehen. Durch diese Mafsnahme wird die ganze kostspielige Kessel- und Kondensationsanlage gespart, und das Gebäude der elektrischen Centrale kann wesentlich kleiner dimensioniert sein. — In Bergwerksbetrieben, namentlich in solchen, welche in gebirgigen Gegenden liegen (z. B. Kärnten), steht häufig die äufserst billige Wasserkraft schon über Tage in Gestalt von Bergbächen u. dgl. zur Verfügung; man wird sich bei einer so günstigen Sachlage keinen Augen-

blick besinnen, die Dynamomaschinen mit Hülfe von Turbinen anzutreiben. — Aber auch in der Grube selbst können die von einer



Fig. 325.

höheren Sohle auf eine tiefere fallenden Wässer, welche von der letzteren mittelst Wasserhaltungsmaschinen auf jeden Fall zu heben sind, leicht



Fig. 326.

durch ein Leitungsrohr zu kleinen Turbinen von 5—10 PS. geführt werden, welche Beleuchtungsmaschinen antreiben. Unter den zahlreichen Tur-

binenkonstruktionen hat sich der Peltonmotor (Maschinen und Armaturenfabrik vorm. H. Breuer u. Co., Höchst a. M.) gut bewährt. Der Wasserstrahl tritt durch eine kreisrunde Düse (Fig. 327 rechts) auf

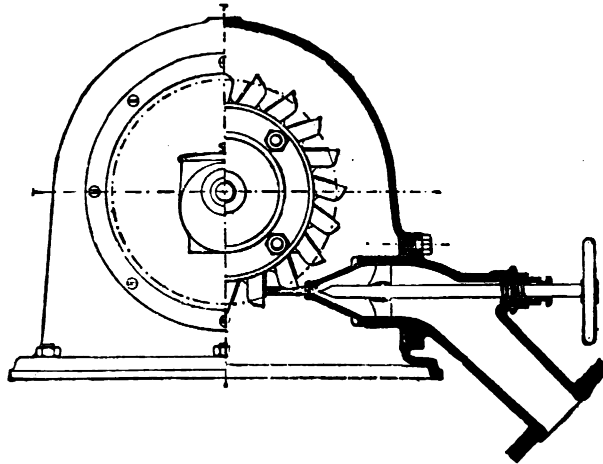


Fig. 327.

ein Rad mit eigentümlich gestalteten Doppelschaufeln (Fig. 328). Beide Schaufelteile werden vom Wasser getroffen, da der Wasserstrahl beim Austritt aus der Düse durch eine scharfe Schneide nach rechts und links geteilt wird. Die Regulierung des Wasserzuflusses erfolgt durch eine sich in die Düse hinein schiebende Spindel (Fig. 327). Die Peltonräder eignen sich für Gefälle von 15 bis 500 Metern und darüber. Man kann sie auch direkt an die Druckwasserleitung (Steigeleitung) einer Wasserhaltungsmaschine anschliefsen. Das dann von der Turbine gebrauchte, wieder zu hebende Wasserquantum ist so gering, dafs der Betrieb immer noch sehr billig ist. Die Peltonräder werden zum Antriebe von kleineren Dynamomaschinen vielfach gebraucht (z. B. Adolfschacht bei Tarnowitz O. S., Florentinegrube bei Beuthen O. S.)*) und

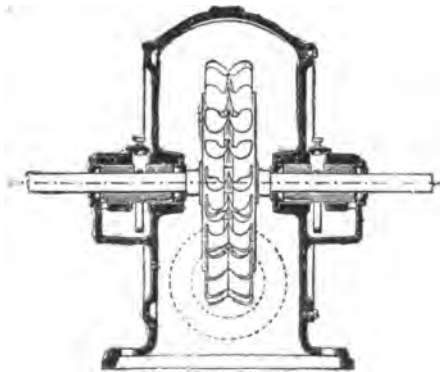


Fig. 328.

*) Eine andere interessante Anlage mit Peltonrädern unter Tage befindet sich in Gottesberg auf den Mayrau- und Egmontschächten. Auf letzterem beträgt beispielsweise: die Tourenzahl des Peltonmotors 2800 pro Minute, die Ausflufs-

können sie wegen ihrer grofsen Tourenzahl direkt mit der Maschine gekuppelt werden (Fig. 329). Der Nutzeffekt beträgt nicht selten 85 %. Soll die Leistung der Turbine auf das zwei- bezw. dreifache gesteigert werden, so versieht man sie mit zwei bezw. drei Ausströmungsdüsen (Fig. 330).

Ein weiteres Aushülfsmittel zur Erzeugung kleinerer Strommengen hat man in den Laval-Dampfturbinen, die nach ähnlichen Prinzipien

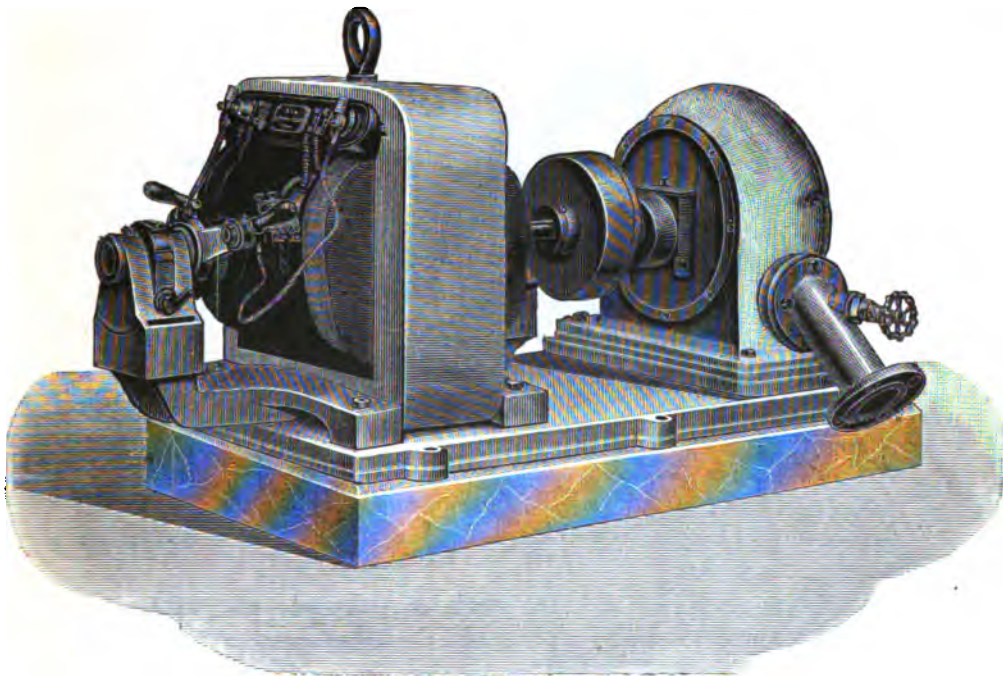


Fig. 329.

wie die Peltonräder gebaut werden. Infolge ihrer äufserst hohen Tourenzahl sind Übersetzungen unumgänglich. Von manchen Praktikern werden sie als „Dampffresser" bezeichnet, was in mancher Beziehung auch zutrifft. Doch liegt die Bedeutung der Lavalturbine nicht so sehr auf dem Gebiete eines rationellen Betriebes als in dem Umstande,

---

geschwindigkeit des Wassers 63 m pro Sekunde, der Betriebsdruck 23 Atm., der Wasserverbrauch 220 l pro Minute und die Leistung 6 PS. Angeschlossen sind 70 Glühlampen à 10, 16 und 32 Normalkerzen zur Beleuchtung zweier Pferdeställe, des Hauptquerschlages mit maschineller Streckenförderung, des Füllortes und des Maschinenraumes einer unterirdischen Fördermaschine. Um Feuersgefahr zu vermeiden, sind die Stempel, an denen Glühlampen hängen, in der Nähe der letzteren mit einer Asbestbekleidung versehen.

dafs sie ein durchaus geeignetes Mittel bietet, den Mehrbedarf an Energie für ein Leitungsnetz, wenn man noch nicht gleich zur Aufstellung eines gröfseren Maschinenaggregates aus irgend welchen Gründen schreiten möchte, auf einfache Weise zu decken. Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet hat die Lavalturbine denn auch mehrfach Eingang in den Bergwerksbetrieb gefunden (z. B. Myslowitzgrube bei Myslowitz O. S., Cleophasgrube-Zalenze bei Kattowitz O. S., Rococogrube bei Beuthen O. S., Maxgrube etc. etc.). Die Dampfturbinen der Firma

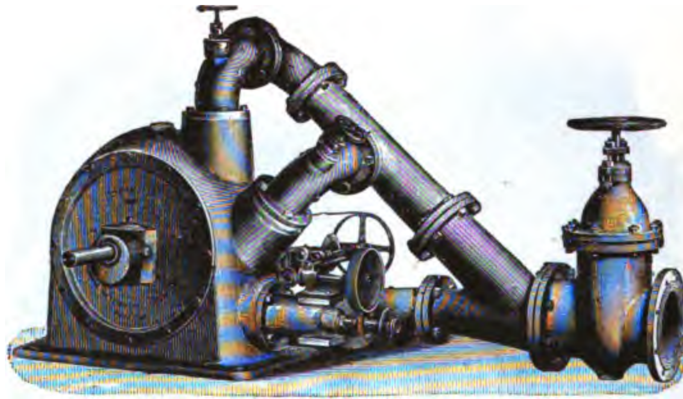


Fig. 330.

C. A. Parsons u. Co. in New-Castle on Tyne scheinen noch wesentlich günstiger zu arbeiten.

Alles zu probieren und das Beste zu behalten, das wird noch lange der Standpunkt sein, von dem aus der Bergmann die Einführung der elektrischen Kraft in den Bergwerksbetrieb betrachten mufs. Mit der Erfahrung des Elektrotechnikers allein ist hier nicht alles gethan; der praktische Betriebsführer mufs möglichst eingehend zur Sache gehört werden.



Sachregister.

[Die Zahlen geben die Seiten an, nur diejenigen bei den Firmen (gesperrt gedruckt) geben die Figuren an]

Berichtigungen und Ergänzungen.

S. 1, Z. 6 v. u. lies: ersichtlichen st. ersichlichen.
„ 5, „ 10 v. o. lies: brechen — Stricknadel durch.
„ 18 v. u. lies: einen st. anderen.
„ 10, letzte Z. lies: Pferdestärke.
„ 13, Z. 16, 21, 23, 26 v. o. lies: besser eichen st. aichen.
„ 16, „ 4 v. o. streiche: „Elektrische Heiz- und Kochapparate“ und füge diese Worte hinter Fig. 30 S. 27 ein.
„ 22, „ 22 v. o. lies: $n \cdot w_i$ st. $n \cdot E$.
„ 24, „ 8 v. o. lies: **drei** st. vier.
„ 25, „ 5 v. o. lies: $J_1 + J_2 = J = 5$ Amp.
„ 32, „ 9 v. u. lies: **der** Membran.
„ 33, „ 10 v. o. lies: dargestellten.
„ 44, „ 9 v. u. lies: **In** ein solches st. Zwischen.
„ 45, „ 18 v. u. lies: Kraftlinien**zahl**.
„ 61, „ 11 v. u. lies: Eisendrähten.
„ 78, „ 7 v. u. lies: so lange st. solange.
„ 90, „ 9 v. u. lies: Kilowatt st. Kilo-Watt.
„ 92, „ 15 v. o. lies: 40° st. 90°.
„ 94, „ 18 v. o. lies: in Bezug auf.
„ 95, „ 8 v. o. lies: so dass st. sodass.
„ 108, letzte Z. streiche: (s. Fig. 169 rechts), ebenso die entspr. Bem. S. 151, Z. 10.
„ 122, Fig. 138 ist eigentlich eine **Dreh**stromlokomotive.
„ 127, Z. 6 v. u. lies: in Betracht.
„ 153, Tab. I, 7. Spalte lies: 2 × 10 st. 210 km. Accumulatoren st. **Akk**umulatoren zu schreiben, dürfte richtiger sein.
„ 157, In Fig. 173 bezeichne den **mittleren** Leiter mit **III**, den **unteren** mit **II**.
„ 159, Z. 18 lies: anstatt st. anstelle.
„ 160, Z. 6 v. o. lies: 20 000 st. 2000.
„ 10 v. o. ergänze: Lauffen-Frankfurter Kraftübertragung (i. J. 1891) sogar 175 km.
„ 173, „ 13 v. o. lies: **der** Nut st. dem.
„ 177, „ 4 v. o. lies: **acht**polig st. zehnpolig
„ 179, „ 5 v. u. (Anm.) lies $A_I O$ st. A, O.
„ 183, oben: Die Ergebnisse auf S. 153 und S. 182 lassen sich wegen der etwas abweichenden Bedingungen (S. 182 $\cos \varphi \neq 1$) doch nicht ohne weiteres mit einander vergleichen. Es kommt schliesslich dennoch auf die Verhältniszahlen S. 160 hinaus. — Der Berechnung S. 182 ist — wenn auch nicht ganz — folgende Formelentwicklung zu Grunde gelegt:

In Formel (3) S. 168 werde J als die Stromstärke pro Leitung (Phase) definiert und der Spannungsverlust E mit v (pro Leitung) bezeichnet. Dann ist der Querschnitt einer der 3 Leitungen:

$$(1) \qquad q = \frac{J \cdot l}{v \cdot s}.$$

Aus der Gesamtleistung $W_a = J \cdot E \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi$ (S. 181) findet man die Stromstärke (J) pro Leitung:

$$(2) \qquad J = \frac{W_a}{E \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi},$$

wo ja E die Hauptspannung ist.

Die Phasenspannung (E_0) ist (S. 179 Anm.): $E_0 = \frac{E}{\sqrt{3}}$.

Ist nun p % der Spannungsverlust, so ist der Spannungsverlust pro Leitungsdraht (v):

$$(3) \qquad v = \frac{E \cdot p}{\sqrt{3} \cdot 100}.$$

Die Einsetzung der Werte für J und v in (1) giebt:

$$(1') \qquad q = \frac{W_a \cdot l \cdot 100}{s \cdot p \cdot E^2 \cos\varphi}.$$

Hierin ist jedoch W_a immer noch die **wirkliche** Leistung, während die Leitung für die **scheinbare Leistung** $= \frac{W_a}{\cos\varphi}$ zu berechnen ist. Dann ist der Querschnitt pro Leitungsdraht:

$$q = \frac{W_a \cdot l \cdot 100}{s \cdot p \cdot E^2 \cdot \cos^2\varphi}; \text{ für } \cos\varphi = 1: \quad q_{\cos\varphi = 1} = \frac{W_a \cdot l \cdot 100}{s \cdot p \cdot E^2}.$$

Für das Beispiel S. 182 ist $q = \frac{84\,000 \cdot 10\,000 \cdot 100}{55 \cdot 10 \cdot 4000000 \cdot 0{,}81}$, $q = 47{,}1$qmm; $J \sim 27$ Amp. Die Differenz der Resultate erklärt sich daraus, dass hier die Wattzahl (93 333) nicht um 10% erhöht ist, was allgemein auch nicht nötig ist.

Für $\cos\varphi = 1$ erhält man: $q = 38$ qmm; $J = 24{,}2$ Amp. —

Im Falle der Kraftübertragung durch Einphasenstrom (2 Drähte) sind die obigen Formeln mit 2 zu multiplizieren, d. h., wenn bei Dreiphasenstrom der errechnete Gesamtquerschnitt (für alle 3 Drähte) $3q$ ist, beträgt er für Einphasenstrom (2 Drähte) $4q$. Beim Drehstrom werden demnach 25% an Leitungsmaterial gespart.

S. 185, Z. 5, lies: *AA* st. *BA*.

„ 188, Bem. zur Schaltung auf „Stern" und „Dreieck": Soll der Motor beim Anziehen bedeutend mehr Kraft als gewöhnlich entwickeln, so schaltet man auch wohl für den Anlauf auf Dreieck und späterhin dauernd auf Stern.

„ 188, Anm. setze hinter bemüht ein Komma.

„ 207, Z. 8 v. o. lies: Fallerthaspel st. Fallerthaspel.

„ 219, „ 3 v. u. (Haupttext) lies: auf einem längeren.

„ 220, „ 15 v. o. lies: nur die aus **den**.

„ 221, „ 7 v. o. lies: Anschluss st. Auschluss.

„ 231, Anm. Genauer ist folgende Definition der Kapazität: „Kapazität einer Accumulatorenzelle ist diejenige Elektrizitätsmenge, welche die

voll geladene Zelle nach dem Schliefsen durch einen Widerstand (Lampen etc.) abgiebt, bis die Klemmspannung um 10% des anfänglichen Wertes gesunken ist. Die Kapazität wird in Ampèrestunden gemessen. (Kalender für Elektrochem. 1899.)

S. 237, Z. 2 v. u. lies: dem Nullleiter.

„ 243, „ 19 u. 20 v. o. lies: „aus 1) und 2)" st. „aus 2) und 3)".

„ 248. In der Tabelle, Spalte 5, lies: Stromstärke st. Brennstärke.

Als Bücher und Zeitschriften zur weiteren Ausbildung, die auch teilweise bei Abfassung dieses Leitfadens benutzt wurden, werden empfohlen:

Elektrotechnische Zeitschrift (E. T.. Z.).
Oesterreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen.
„Glück auf!" Berg- und hüttenmännische Wochenschrift.
Druckschriften und Veröffentlichungen aller grösseren Elektrizitätsgesellschaften.
G. Kapp, Die Dynamomaschinen; Elektrische Kraftübertragung; Transformatoren.
Schmidt, Elektrotechnik.
Rühlmann, Elektrotechnik.
Hoppe, Elektrotechnik.
Niethammer, Die elektrischen Hebezeuge.
Richarz, Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Elektrizität.
Elbs, Die Accumulatoren.
Riedler, Schnellbetrieb.
Dr. F. Sennewald, Anschauungstafeln f. d. elektrotechn. Unterricht u. a.



